

ISSN 1694-5050

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ И
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

КЫРГЫЗСКАЯ АССОЦИАЦИЯ ПО
АВТОМАТИЧЕСКОМУ УПРАВЛЕНИЮ
И КОМПЬЮТЕРНЫМ СИСТЕМАМ

ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИКИ И УПРАВЛЕНИЯ

№ 1 (34)

Журнал входит в РИНЦ, а также в перечень ВАК Кыргызской Республики рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук

Журнал издается с 1996 года.

Зарегистрирован Министерством юстиции
Кыргызской Республики
Свидетельство № 1503 от 26 февраля 2009 г.



БИШКЕК

2018

ИЛИМ

Проблемы автоматизации и управления: Научно-технический журнал
/ Национальная академия наук Кыргызской Республики.–
Бишкек: Илим, 2018.– №1(34).– 82 с.

Главный редактор
академик НАН КР Ж. ШАРШЕНАЛИЕВ

Ответственный секретарь
доктор технических наук А.Б. БАКАСОВА

Редакционная коллегия:

*академик РАН Ю.Г. ЕВТУШЕНКО (Россия),
член-корр. НАН РК М.Н. КАЛИМОЛДАЕВ, (Казахстан),
член-корр. НАН КР Р.О. ОМОРОВ, (Кыргызстан),
доктор технических наук, профессор МАРАТ АХМЕТ, (Турция),
доктор технических наук, профессор Е.Л. ЕРЁМИН (Россия),
доктор технических наук, профессор С.А. АЙСАГАЛИЕВ (Казахстан),
доктор технических наук, профессор А. АБДУКАЮМОВ (Узбекистан),
доктор физ.-мат. наук, профессор М.Т. ЖЕНАЛИЕВ (Казахстан),
доктор технических наук, профессор Б.И. ИСМАИЛОВ, (Кыргызстан),
доктор физ.-мат. наук, профессор А.Д. САТЫБАЕВ, (Кыргызстан),
доктор технических наук И.В. БРЯКИН, (Кыргызстан),
доктор технических наук К.А. ПРЕСНЯКОВ, (Кыргызстан),
доктор технических наук Д.В. ЯНКО, (Кыргызстан),
доктор технических наук Б.Т. УКУЕВ (Кыргызстан)*

В журнале публикуются статьи по системному анализу, управлению и обработке информации в технических системах, по математическому моделированию, численным методам и комплексам программ, а также результатам исследований по разработке элементов и систем управления.

Рецензенты:

*доктор технических наук Н.М. ЛЫЧЕНКО
доктор технических наук Е.Л. МИРКИН*

Контакты редакции:

720071, Бишкек, проспект Чуй, 265.

Институт автоматизации и информационных технологий, Кыргызская Ассоциация по автоматическому управлению и компьютерным системам.

Телефон: +996 312 39-20-36.

E-mail: avtomatika_nankr@mail.ru

Полная электронная версия журнала: <http://iait.kg/pau/>

СОДЕРЖАНИЕ

УПРАВЛЕНИЕ, ОПТИМИЗАЦИЯ И СТАБИЛИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

<i>Шаршеналиев Ж.Ш., Самохвалова Т.П., Третьякова Л.В.</i> Алгоритм стабилизации высокотемпературных режимов объекта	5
<i>Ниязова Г.Н.</i> Анализ существующих способов стабилизации параметров микроГЭС	12
<i>Акматбеков Р.А.</i> Параметрическая оптимизация алгоритмов управления методом Монте-Карло	19

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМ

<i>Верзунов С.Н., Токсаитов Д.А.</i> Способы оптимизации расчёта 3d графики для тайловых графических процессоров на примере визуализации моделирования гравитационного взаимодействия N тел	26
<i>Авельцов Д.О.</i> Применение микросервисной архитектуры в разработке программного обеспечения системы мониторинга параметров окружающей среды	36
<i>Укуев Б.Т. Назаров Б.Б.</i> Проблемы моделирования и управления интеллектуальными активно-адаптивными сетями	43

УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ АВТОМАТИКИ

<i>Мамбеталиев А.М., Сомов А.А.</i> Анализ применения средств ви- деомониторинга окружающей обстановки на базе беспилотных аппаратов министерством чрезвычайных ситуаций Кыргызской Республики.....	49
<i>Бочкарев И.В., Брякин И.В., Гунина М.Г.</i> Система оперативного контроля технического состояния электрических кабелей	55
<i>Шаршеналиев Ж.Ш., Эралиев К.Э., Исмаилов Б.И.</i> Исследо- вание и разработка автоматизированных систем дистанционного беспроводного контроля режимов производственных процессов на объектах с распределенными параметрами	64
<i>Шукуров У.Ш., Акчалов Ш.А., Калысбеков Ш.К., Турусбеков С.К.</i> Некоторые аспекты выращивания монокристаллов полупроводников, используемых в альтернативной энергетике	70

УПРАВЛЕНИЕ, ОПТИМИЗАЦИЯ И СТАБИЛИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 519.3:62–50

Ж.Ш. Шаршеналиев, Т.П. Самохвалова, Л.В. Третьякова
Институт автоматизации и информационных технологий НАН КР

АЛГОРИТМ СТАБИЛИЗАЦИИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ ОБЪЕКТА

Построены алгоритмы управления и стабилизации для нелинейной системы с сосредоточенными параметрами. Алгоритмы основаны на методе динамического программирования Р. Беллмана и методе характеристик. Расчеты сравниваются с расчетами по методу Л. Понтрягина.

Ключевые слова: оптимальное управление; стабилизация; метод характеристик; скачки величины управления.

Введение. В работах [1–2] разработан способ решения задач оптимального управления и стабилизации со степенными нелинейностями с помощью функционально-степенных рядов В.И. Зубова. Оказалось, что с повышением размерности модели управляемой системы возрастает сложность составления вспомогательной бесконечной системы уравнений типа Риккати. В рамках метода динамического программирования Р. Беллмана на основании работ [3–5 и др.] была предпринята попытка найти другой способ решения уравнения Беллмана для задач управления с обратной связью [6–8].

В данной работе полученные методом характеристик алгоритмы применяются для стабилизации высокотемпературного нагрева с излучением тепла. Уменьшены или устранены резкие скачки величины управления при периодическом измерении состояния одномерного динамического объекта.

1. Постановка задачи

Математическую модель нагрева управляемого объекта с излучением тепла запишем в виде

$$\frac{dx(t)}{dt} = Ax(t) + Bp(t) - \gamma\sigma x^4(t), \quad x(0) = x_0, \quad t \in [0; t_k]. \quad (1.1)$$

При отсутствии излучения ($\gamma = 0$) модель нагрева линейная:

$$\frac{dx(t)}{dt} = Ax(t) + Bp(t), \quad x(0) = x_0, \quad t \in [0; t_k]. \quad (1.2)$$

В численных расчетах для удовлетворительного достижения заданного желаемого состояния $g(t)$ объекта используем минимизацию квадратичного критерия качества

$$J = \gamma_1 \int_0^{t_k} (x(t) - g)^T Q(x(t) - g) dt + \gamma_2 (x(t_k) - g)^T F(x(t_k) - g) + \beta \int_0^{t_k} p^2(t) dt. \quad (1.3)$$

Здесь A, Q, F – известные $n \times n$ матрицы; B, x, g – вектор-столбцы размерности $n \times 1$; $\gamma, \gamma_1, \gamma_2, \beta, t_k$ – известные постоянные; σ – коэффициент Стефана-Больцмана; $p(t)$ –

скалярная управляющая функция из множества допустимых управлений, характеризует удельную мощность электрического тока; $(^T)$ – символ транспонирования.

Задача 1.1. Найти управление $p(t)$ и соответствующее решение $x(t)$ уравнения (1.1), минимизирующие критерий качества (1.3).

Линейную задачу (1.2), (1.3) ($\gamma = 0$) решаем методом динамического программирования Р. Беллмана.

Уравнение Беллмана с обращенным временем ($t = t_k - \tau$, $dt = -d\tau$) имеет вид

$$\frac{\partial S(t, x(t))}{\partial t} = (Ax)^T \frac{\partial S(t, x(t))}{\partial x} + \gamma_1(x - g)^T Q(x - g) - \frac{B^T B}{4\beta} \left(\frac{\partial S(t, x(t))}{\partial x} \right)^T \frac{\partial S(t, x(t))}{\partial x}, \quad (1.4)$$

с условием $S(0, x) = \gamma_2(x(0) - g)^T F(x(0) - g)$.

Оптимальное синтезирующее управление равно

$$p^0(t, x(t)) = -\frac{1}{2\beta} B^T \frac{\partial S(t, x(t))}{\partial x}. \quad (1.5)$$

В работах [6, 7] предложен новый вариант решения уравнения Беллмана, который основывается на методе параметризации и характеристик Н.М. Гюнтера [3] и методе дополнительного аргумента [4, 5]. На рис. 1 показано местонахождение предложенного способа решения среди других методов.

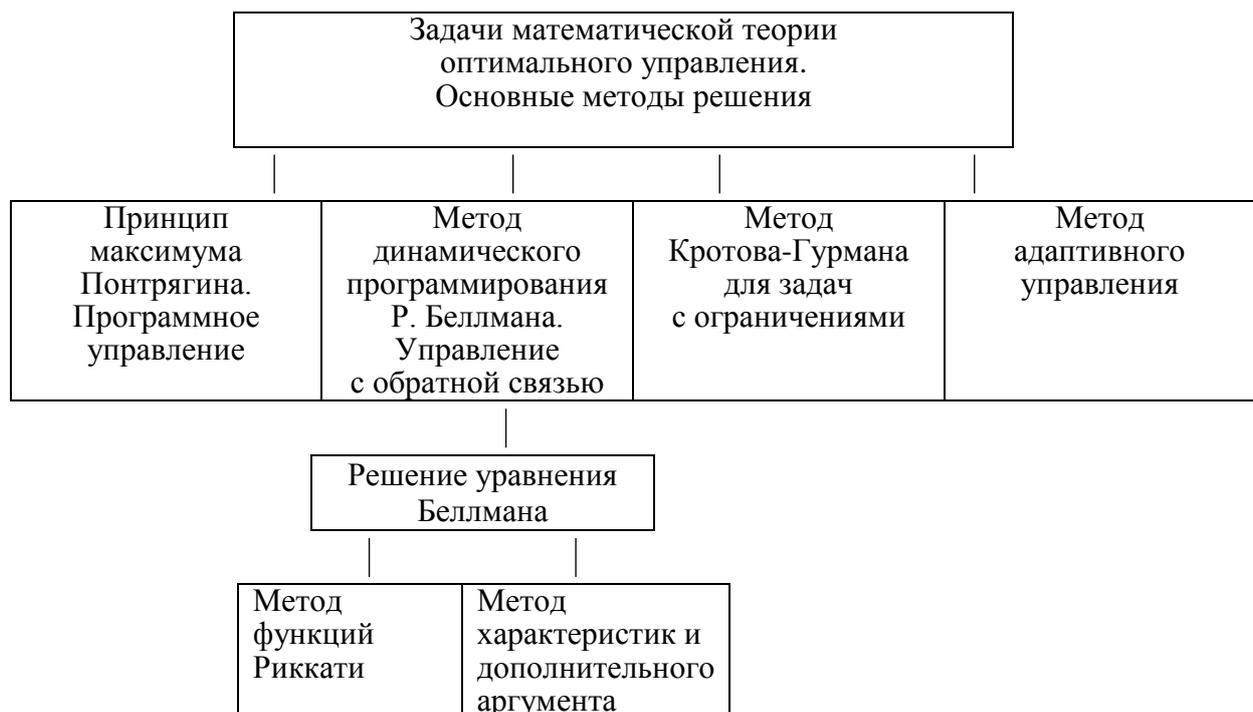


Рисунок 1. Методы решения задач оптимального управления

Линеаризованное уравнение Беллмана (1.4) при $n = 1$, $A < 0$ запишем в виде

$$\frac{\partial S(t, x)}{\partial t} - Ax \frac{\partial S(t, x)}{\partial x} = \left(\gamma_1 Q - \frac{B^2}{\beta} \gamma_2^2 F^2 \right) (x - g)^2, \quad S(0, x) = \gamma_2 F(x - g)^2 \quad (1.6)$$

и применим методы [3–5]. Приближенное стабилизирующее управление $p(x(t))$, полученное из (1.5), (1.6) по методу характеристик с линеаризацией уравнения Беллмана, имеет вид [6, 7]:

$$p(x(t)) = -\frac{b}{2A\beta} Mx(t) + \frac{Bg}{A\beta} M, \quad M = \gamma_1 Q - \frac{B^2}{\beta} \gamma_2^2 F^2. \quad (1.7)$$

По технологическим требованиям часто достаточно, чтобы состояние объекта попадало в 5% зону от заданной желаемой величины $g(t)$.

Известно, что в численных расчетах на графиках часто возникает резкий скачок или «горб» величины управления в начале интервала времени. В высокотемпературных объектах этот скачок особенно резко выражен. Для уменьшения величины скачка в [8] было предложено переходить в заданную зону с помощью функции $g(t)$ в критерии качества, выбранной в виде экспоненты с асимптотой

$$\lim_{t \rightarrow \infty} g(t) \equiv konst,$$

и выбирать параметры этой экспоненты. В [8] показано, что выбор параметров в $g(t)$ позволяет сгладить или устранить резкие скачки величины управления не только в начале интервала времени, но и в моменты периодического контроля состояния объекта. Данная работа продолжает [8], расчеты по методу характеристик сравниваются с расчетами по принципу максимума Л.С. Понтрягина и методом функций Риккати.

2. Расчеты по методу Понтрягина

Линейную задачу (1.2), (1.3) ($\gamma = 0$) решаем методом принципа максимума Л.С. Понтрягина.

В методе Понтрягина требуется решить систему дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} \frac{dx(t)}{dt} &= Ax(t) - \frac{B^2}{2\beta a_0} \psi(t), \quad x(0) = x_0, \quad t \in [0; t_k]; \\ \frac{d\psi(t)}{dt} &= -2a_0\gamma_1 Qx(t) - A\psi(t) + 2a_0\gamma_1 Qg, \quad \psi(t_k) = \psi_k, \quad a_0 = 1. \end{aligned} \quad (2.1)$$

Оптимальное программное управление вычисляется по формуле

$$p^0(t) = -\frac{B}{2\beta a_0} \psi(t). \quad (2.2)$$

В результате расчетов по принципу максимума Понтрягина в линейной задаче получены следующие графики (рис. 2–4) вспомогательной (сопряженной) функции $\psi(t)$, управления $p(t)$, температуры $x(t)$.

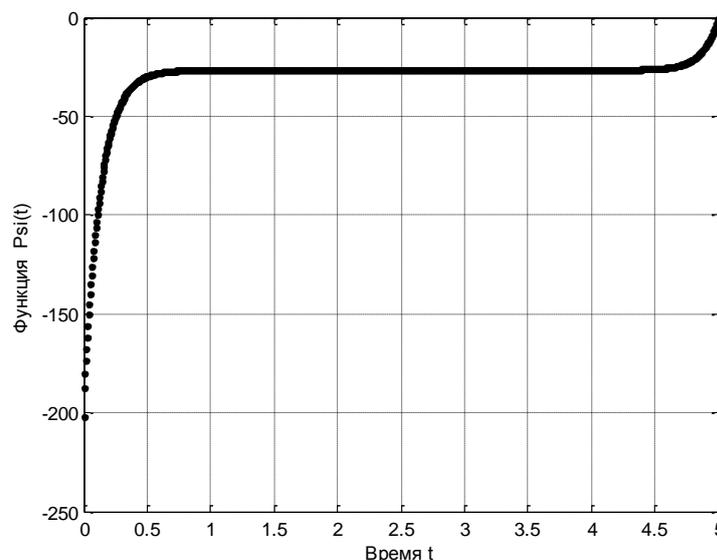


Рисунок 2. Вспомогательная (сопряженная) функция $\psi(t)$

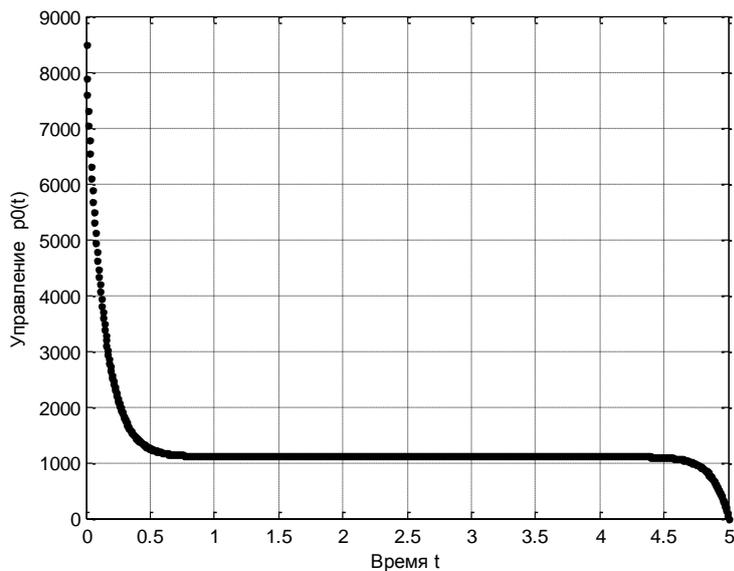


Рисунок 3. Программное управление $p^0(t)$

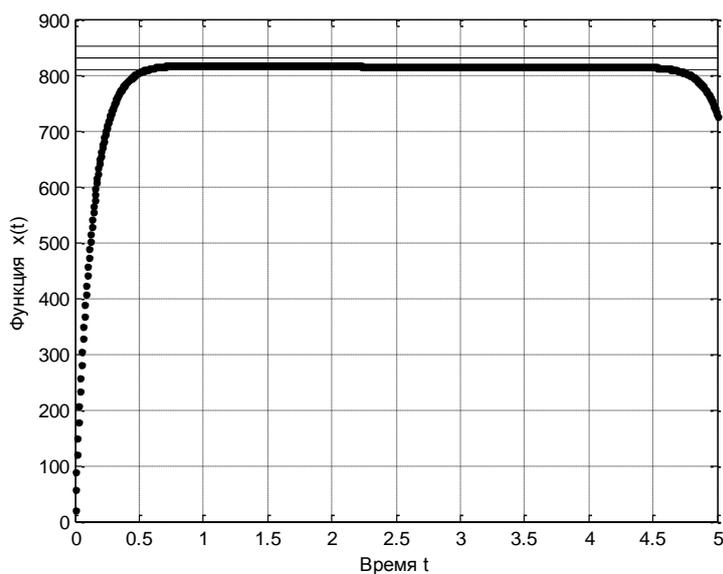


Рисунок 4. Температура $x(t)$

Рис. 3 показывает наличие скачка и наличие интервала стационарности в программном управлении (2.2), рис. 4 показывает приближение температуры к заданной зоне так же, как и в синтезирующих (с обратной связью) управлениях, построенных по функциям Риккати и характеристикам (1.7).

В процессе расчетов был модифицирован известный метод «стрельбы из неизвестной начальной точки $\psi(t_0)$ в известную конечную точку $\psi(t_k)$ », при этом конечное условие $\psi(t_k) = \psi_k$ вычисляется не точно.

В данной работе предложен вариант «стрельбы из неизвестной начальной точки $\psi(t_0)$ в неизвестный минимум критерия качества $J(\psi(t_0))$ », при этом конечное условие $\psi(t_k) = \psi_k$ выполняется точно. Относительно минимума J известно, что он существует и единственный и вычисляется по формуле (1.3), $J \geq 0$.

Линейная модель (1.2) управляемого процесса одномерная, это позволяет систему (2.1) принципа максимума (два уравнения первого порядка) свести к одному уравнению второго порядка относительно $\psi(t)$ (двухточечная краевая задача с неизвестным начальным условием), которое решаем численно методом прогонки. Если удастся точно найти начальное условие $\psi(t_0)$, то найдем $\psi^0(t)$, затем по формуле (2.2) найдем оптимальное программное управление $p^0(t)$, по (1.2) соответствующее $x^0(t)$ и по (1.3) вычислим минимум критерия $J^0 = J(\psi(t_0))$.

На рис. 5–7 приведены графики зависимости неявной функции $J(\psi(t_0))$ от выбора начальной точки $\psi(t_0)$ с шагом $h = 0,01$.

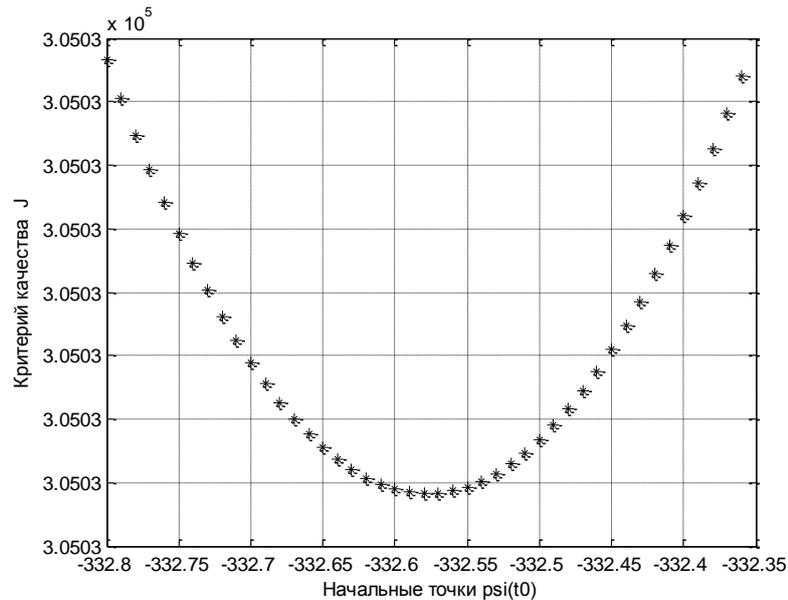


Рисунок 5. График зависимости величины критерия качества J от выбора начальной точки $\psi(t_0)$

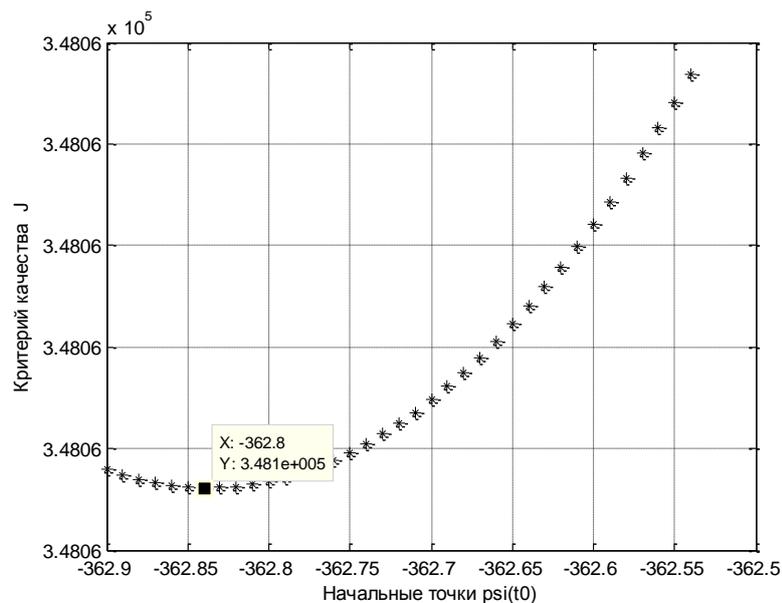


Рисунок 6. Минимум критерия J при $\beta = 0,03$

Минимум критерия J при $\beta = 0,03$; $N = 1900$ расположен между $\psi_1 = -362,85$ и $\psi_2 = -362,84$, разность соответствующих величин J равна $J_1 - J_2 = -0,0001$.

Минимум критерия при $\beta = 0,03$ полагаем равным $J = 3,4806 \times 10^5$.

Уменьшив шаг h выбора начальной точки $\psi(t_0)$, можно получить более точные величины $\psi(t_0)$ и J .

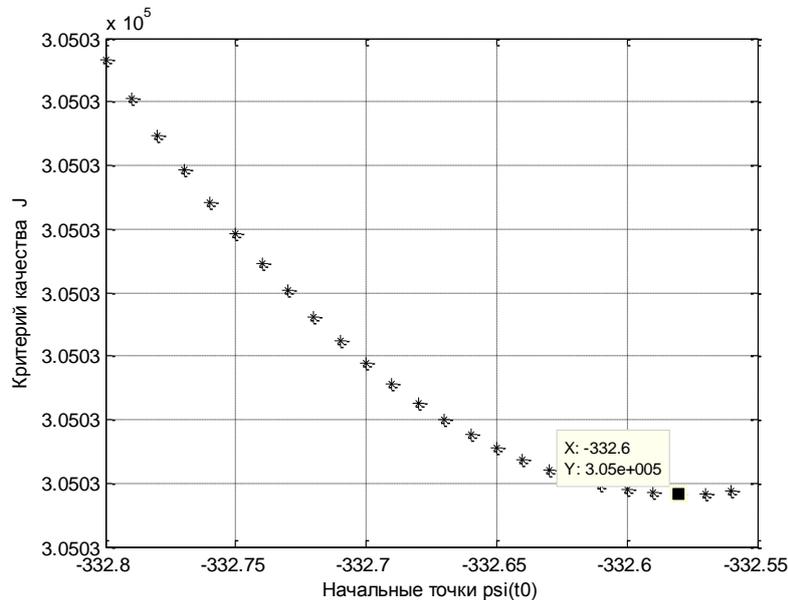


Рисунок 7. Минимум критерия J при $\beta = 0,025$

Минимум критерия J при $\beta = 0,025$; $N = 1900$ расположен между $\psi_1 = -332,59$ и $\psi_2 = -332,58$, разность соответствующих величин J равна $J_1 - J_2 = -0,0002$.

Минимум критерия при $\beta = 0,025$ полагаем равным $J = 3,0503 \times 10^5$.

Таким образом, получили, что расчеты по методу Понтрягина показывают скачок величины управления в начале интервала времени (рис. 3). При $g \equiv 830$, $\beta = 0,03$ скачок равен $4968,5$, на интервале стационарности величина управления около $1113,2$. Это удовлетворительно совпадает с расчетами по функциям Риккати [2] и по характеристикам [8].

Далее рассмотрим возможность уменьшения скачка в расчетах методом Понтрягина. Как в [8], функцию g возьмем в виде экспоненты $g \equiv a + be^{\alpha t}$ с различными величинами $\alpha = -15$; -5 ; -1 .

Автоматизированная обратная связь в методе Понтрягина. Известно, что явные относительно $x(t)$ аналитические формулы вида (1.7) синтезирующего управления позволяют реализовать обратную связь с управляемым объектом. При наличии быстродействующего компьютера можно численно организовать обратную связь в формулах (2.1), (2.2) метода Понтрягина. В (2.2) неявно присутствуют $x(t)$ и начальное условие x_0 из (2.1). В моменты t_j , $j = 1, \dots, N$, контроля за текущим состоянием объекта в уравнениях (2.1) полагаем x_0 равным измеренной величине: $x_0 = x(t_j)$. Обращение к стандартным программам сокращает время расчетов новой функции $\psi(t)$. Получаем график процесса на интервале $[t_0, t_k]$ с измерением в моменты t_0, t_1, t_2 (рис. 8).

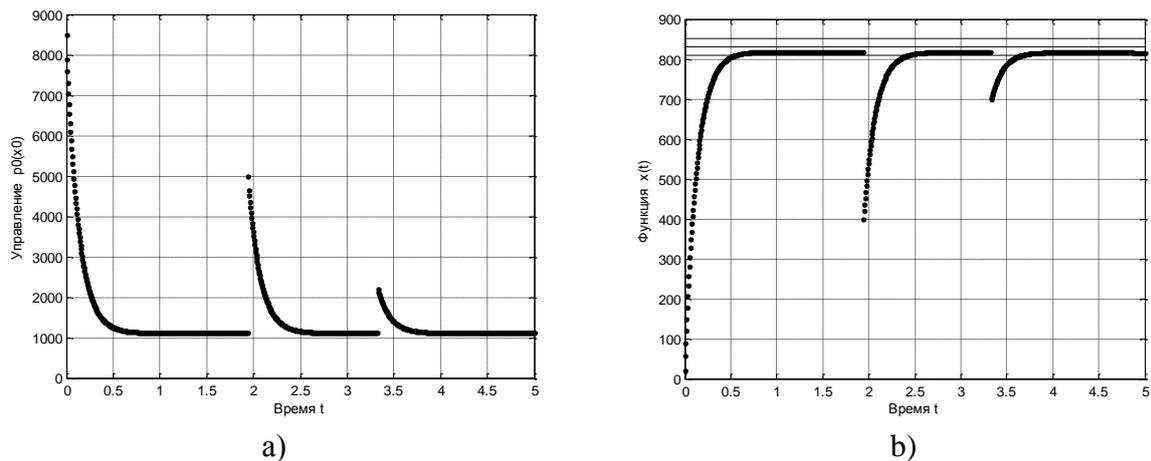


Рисунок 8. а) Скачки управления, $g \equiv 830$. б) Температура измерений 20; 400; 700.

3. Нелинейная задача

В нелинейной задаче (1.1), (1.3) ($\gamma = 1$) используем алгоритм управления (1.7) линейной задачи (1.2), (1.3), построенный методом характеристик с выбранным параметром α . Результаты расчетов удовлетворительные.

Заключение. Численные расчеты показали, что алгоритмы управления на основе методов Понтрягина, Беллмана с функциями Риккати, характеристик и дополнительного аргумента в рассмотренных примерах приводят к удовлетворительно совпадающим результатам.

Литература

1. Шаршеналиев Ж.Ш., Самохвалова Т.П., Сактанов У.А. Моделирование и оптимизация управляемых технологических процессов. – Бишкек: Илим, 2009. – 242 с.
2. Шаршеналиев Ж.Ш., Самохвалова Т.П. Приближенные алгоритмы управления и стабилизации в системах с сосредоточенными и распределенными параметрами / Итоги науки. Т. 2. Избранные труды Международного симпозиума по фундаментальным и прикладным проблемам науки. – М.: РАН, 2014. – С. 75–110.
3. Гюнтер Н.М. Интегрирование уравнений в частных производных первого порядка. – Л.-М.: ОНТИ, 1934.
4. Иманалиев М.И. Нелинейные интегро-дифференциальные уравнения с частными производными. – Бишкек: Илим, 1992. – 112 с.
5. Иманалиев М.И., Алексеенко С.Н. // Доклады АН СССР. 1992. Т. 323. № 3. С. 410–414; 1992. Т. 325. № 6. С. 111–115; 1993. Т. 329. № 5. С. 543–546.
6. Самохвалова Т.П. Приближенное решение уравнения Беллмана методом характеристик // Проблемы автоматизации и управления. 2016. № 2 (31). – С. 51–56.
7. Самохвалова Т.П. Приближенное решение уравнения Беллмана / Материалы Междунар. научн. конф. «Механика твердых, жидких и газообразных сред», посвящ. 80-летию д.ф.-м.н., проф. Я.И. Рудаева, 2–3 декабря 2016 // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. –2017. – Т. 17. № 1. – С. 52–54.
8. Шаршеналиев Ж.Ш., Самохвалова Т.П., Макиенко Д.О. Алгоритм управления с периодическим контролем состояния объекта // Проблемы автоматизации и управления. – 2017. № 2 (33). – С. 3–9.

УДК 621.311.212

Г.Н. Ниязова

Институт автоматизации и информационных технологий НАН КР, г. Бишкек, Кыргызстан, e-mail: gulmira-n.86@mail.ru

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СПОСОБОВ СТАБИЛИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ МИКРОГЭС

В статье рассмотрена основная классификация способов стабилизации параметров генерируемой электрической энергии микроГЭС. Приведены структурные схемы их реализации и проведён анализ особенностей работы, достоинств и недостатков. Предлагается способ стабилизации частоты вращения гидротурбины нового типа микроГЭС малой мощности с использованием саморегулирующегося адаптивного маховика. Принцип стабилизации основан на изменении значения момента инерции гидротурбины.

Ключевые слова: микроГЭС малой мощности; способы стабилизации параметров электроэнергии; момент инерции; саморегулирующийся адаптивный маховик.

Необходимость обеспечить децентрализованных потребителей качественной и недорогой электроэнергией в энергодефицитных регионах обуславливает поиски новых решений в автономном энергоснабжении. В Кыргызстане одним из основных перспективных направлений является использование потенциала малых рек и ручьев, а также создание высокоэффективного гидроэнергетического оборудования для малых и микроГЭС.

Если говорить о качестве электроэнергии, вырабатываемой микроГЭС, то согласно ГОСТ 13109-97, в 11 показателей качества электроэнергии входят также параметры выходного напряжения, характеризующиеся номинальной величиной и частотой. Поэтому одним из основных элементов микроГЭС является система стабилизации, обеспечивающая статически устойчивый режим работы гидроагрегата и стабилизацию его выходного напряжения.

На сегодняшний день известны пять основных способов стабилизации параметров генерируемой электроэнергии микроГЭС [1]:

- стабилизация частоты вращения гидротурбины путем воздействия на элементы гидротехнического оборудования (рис.1, а);
- стабилизация частоты вращения электрической машины путем установки между гидродвигателем и генератором привода постоянной скорости (рис.1, б);
- поддержание стабильной частоты выходного напряжения с помощью специальных конструкций электрических машин – генераторов стабильной частоты при переменной частоте вращения (рис.1, в);
- поддержание стабильной частоты тока и напряжения с использованием статических преобразователей частоты, преобразующих напряжение генератора с переменной частотой вращения (рис.1, г);
- поддержание стабильной частоты тока и напряжения путём размещения между генератором и нагрузкой дополнительной регулируемой нагрузкой (рис.1, д).

Возможно также использование комбинаций этих способов в различных сочетаниях.

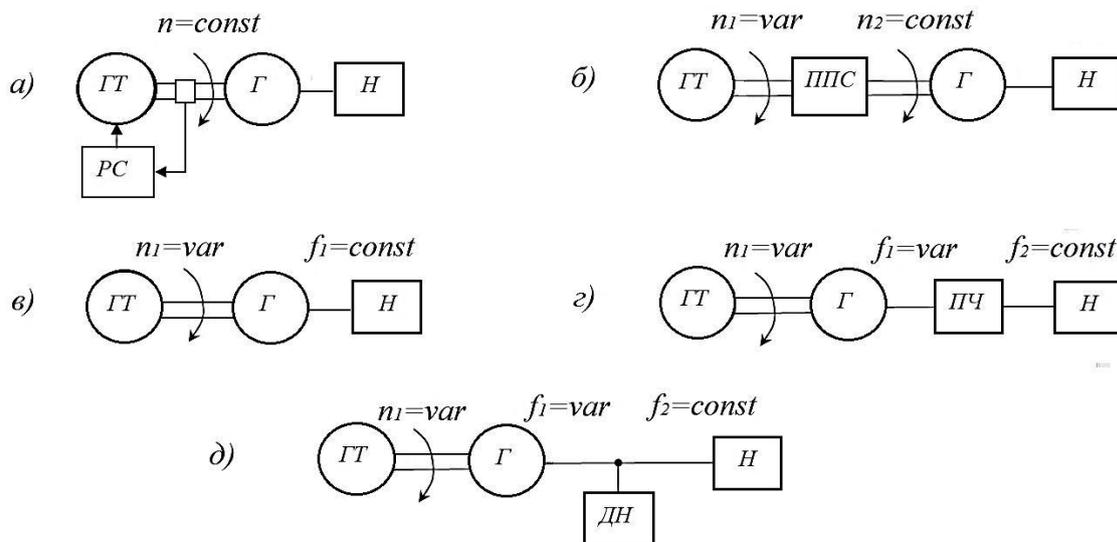


Рисунок 1 Способы стабилизации параметров микроГЭС: ГТ – гидротурбина; Г – генератор; Н – нагрузка; РС – регулятор скорости; ППС – привод постоянной скорости; ПЧ – преобразователь частоты; ДН – дополнительная нагрузка

Первый и второй способы стабилизации основаны на использовании различных электро- и гидромеханических регуляторов, однако при этом усложняется конструкция установки, могут увеличиваться габариты и вес установки, снижаются показатели надёжности микроГЭС. Третий и четвертый способы основаны на упрощении механической конструкции микроГЭС для улучшения эксплуатационно-технических характеристик. Недостаток пятого способа – понижение КПД.

Основная цель при проектировании микроГЭС – это получение оптимальных значений эксплуатационно-технических показателей, и здесь возникает дилемма: для упрощения гидротехнического оборудования необходимо усложнение электрической части микроГЭС.

Предлагается использовать полупроводниковые преобразователи, так как они хорошо сочетаются с электрическими машинами различного типа и назначения. Это позволяет создавать новый тип преобразовательных устройств – машинно-вентильных преобразователей, которые обладают широкими возможностями по управлению процессами выработки и преобразования электрической энергии. Именно такие преобразователи широко применяются в современных установках микроГЭС.

Однако производство электроэнергии высокого качества с использованием машинно-вентильных источников электропитания достигается путём существенного усложнения (а значит, и удорожания) преобразовательной части установки. Использование электромашинных генераторов в микроГЭС также усложняется тем, что превышение номинальной частоты вращения для них допускается не более чем на 30 % [1].

На сегодняшний день также популярно применение способа стабилизации напряжения микроГЭС, основанного на включении на выходе генератора электроэнергии регулируемой балластной нагрузки. В качестве балластной нагрузки может применяться полезная нагрузка (осветительная нагрузка, электрообогреватели). Основное внимание при использовании данного способа направлено на автоматическое перераспределение электрической мощности между потребителями, которые подключаются или отключаются в определённых сочетаниях при помощи регулятора балластной нагрузки [2].

Достоинством данного способа является его хороший экономический эффект, заключающийся в возможности исключения механической системы стабилизации частоты вращения гидротурбины, а стабилизацию осуществлять статическими полупроводниковыми преобразователями, которые имеют ряд преимуществ в сравнении с их аналогами: компактность, надежность, отсутствие движущихся элементов и т.д. Стоимость автоматической балластной нагрузки составляет около 20 % от стоимости механического регулятора гидротурбины [3].

Также к достоинствам можно отнести возможность применения общепромышленных генераторов без большого запаса механической прочности. Кроме того, автобалластный способ стабилизации хорошо сочетается с регулированием выходных параметров асинхронного генератора с ёмкостным самовозбуждением, что позволяет применять как синхронные, так и асинхронные электрические машины [1].

Анализируя современные способы стабилизации параметров микроГЭС, можно отметить, что ни один из них в условиях изменения нагрузки в широких диапазонах мощностей не проявил бы себя эффективным, не требуя при этом существенного увеличения массогабаритных показателей установки или усложнения электрической части микроГЭС.

Рассмотрим ещё один способ стабилизации для автономной микроГЭС малой мощности – способ стабилизации частоты вращения вала гидротурбины, обеспечивающий требуемую равномерность вращения вала гидротурбины. Неравномерность вращения связана с изменением в процессе работы движущих сил и сил сопротивления, которые вызваны как периодическим характером рабочего процесса, так и внешними изменениями. Процессы такого рода вызывают неравномерность вращения, которая изменяется с периодичностью включения или отключения электроприёмников. Новый способ стабилизации основан на изменении значения момента инерции гидротурбины путем использования маховика с автоматически регулируемой массой и моментом инерции, и регулирования энергии потока воды, поступающей на выходы напорного трубопровода [4].

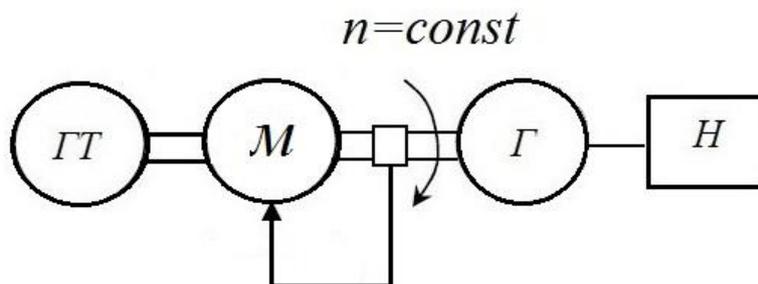


Рисунок 2. Способ стабилизации частоты вращения вала гидротурбины: ГТ – гидротурбина; Г – генератор; Н – нагрузка; М – маховик

В работе [4] рассмотрен новый способ стабилизации частоты микроГЭС, на который получен соответствующий патент Кыргызской Республики [5]. Получены патенты и на конструктивные исполнения (КИ1, КИ2) саморегулирующегося адаптивного маховика, входящего в состав микроГЭС [6, 7].

Рассмотрим способ стабилизации частоты микроГЭС КИ2, изображенный на рис.3, изложенный в работе [4].

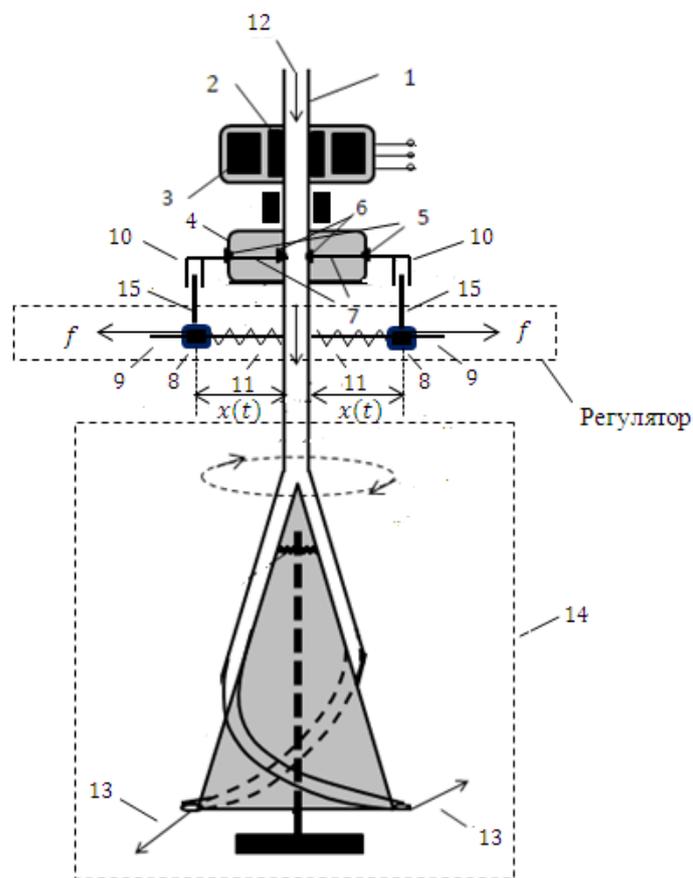


Рисунок 3. Конструктивное исполнение микроГЭС: 1 - напорный трубопровод (НТ), одновременно выполняющий функцию вала гидротурбины (ГТ) 14; 2 – ротор генератора, жестко прикрепленный к валу ГТ; 3 – статор генератора; 4 – полый маховик для заполнения жидкостью, разделённый на две части перегородкой и жестко прикрепленный к валу ГТ. Маховик состоит из следующих элементов: 5, 6 – внешние и внутренние клапаны, 7 – спицы, к которым с одного конца жестко прикреплены цилиндрические трубки (закрытые сверху) 10, а с другой стороны клапаны 5 и 6, 9 – стержни, жестко закрепленные к валу 1, на которые насажены грузики 8 с массой m , притянутые пружинами 11; 12 – поток воды, поступающий в напорный трубопровод ГТ; 13 – поток воды, выходящий из ГТ

Способ стабилизации частоты микроГЭС реализуется следующим образом. Поток воды 12 проходит через НТ1 и преобразуется в поток воды 13 на выходе из ГТ, образуя реактивную отдачу. В результате ротор генератора 2 и маховик 4, жестко связанные с НТ, приводятся во вращательное движение. На металлические грузики 8 воздействует центробежная сила f , заставляющая их в момент времени t двигаться вдоль стержня, отклоняя массы на величину $x(t)$ от ненапряженного состояния пружины.

Пружины 11, жестко соединенные с грузиками 8, растягиваются, появляется обратная (центростремительная) сила натяжения, действующая на грузики 8, направленная вдоль стержня 9 к центру вращения. При превышении частоты вращения вала выше номинального, из-за уменьшения нагрузки генератора, центробежная сила, действующая на грузики 8, превышает центростремительную и грузики 8 начинают движение вдоль стержня 9 от центра вращения. При этом выступы 15 грузиков 8 передают силу на цилиндрические трубки 10, приводя их в движение. Так как цилиндрические трубки 10 находятся на концах спиц 7, то клапаны 6, жестко соединенные с этими спицами, открываются. При открытых клапанах 6 клапаны 5

закрываются, а полость маховика наполняется водой. При этом, во-первых, момент инерции вращающейся части микроГЭС увеличивается, во-вторых, сила напора воды 13 уменьшается. В итоге, угловая скорость $\omega(t)$ вала начинает уменьшаться.

Для описанного в [4] способа управления и стабилизации частоты микроГЭС разработана математическая модель «машина-регулятор», позволяющая определить зависимость регулирования частоты вращения вала от параметров конструктивных элементов микроГЭС и водотока [8]. При разработке математической модели микроГЭС нового типа предположено, что несколько автономных микроГЭС работают в распределительной электрической сети на генераторном напряжении

$$\left. \begin{aligned} T_{j1} + T_{j2} \delta(t), t \quad \frac{d^2\delta}{dt^2} = \omega_0 P_0(x) - P_M \sin \delta, \\ m\ddot{x} + \alpha\dot{x} + \gamma x = \beta m(x+r)\omega^2. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где T_{j1} – неизменная составляющая механической постоянной маховика и остальных элементов конструкции микроГЭС, которые находятся во вращательном движении; $T_{j2}(\delta(t), t)$ – переменная составляющая, зависящая от угла $\delta(t)$ и времени t . Значение $T_{j2}(\delta(t), t)$ изменяется от нуля, когда полость маховика пуста, и до максимального значения связанная с объемом полости маховика. α, β, γ, r – некоторые положительные числа. Величина γx соответствует упругой восстанавливающей силе пружины (закон Гука), величина $\alpha\dot{x}$ соответствует силе трения. Здесь принимается, что справедлив закон вязкого трения: сила трения пропорциональна скорости $\dot{x}(t)$ и число α является коэффициентом пропорциональности. Другими видами трения, кроме вязкого, здесь пренебрегаем. Числу r соответствует длина пружины в ненапряженном состоянии [8].

Обыкновенное дифференциальное уравнение, применяемое для анализа динамической устойчивости микроГЭС – нелинейное (первое уравнение системы (1)), второе уравнение описывает динамику регулятора.

Структурная схема модели, описывающая работу микроГЭС, при функционировании регулятора и маховика (когда маховик заполнен водой), показана на рис. 4.

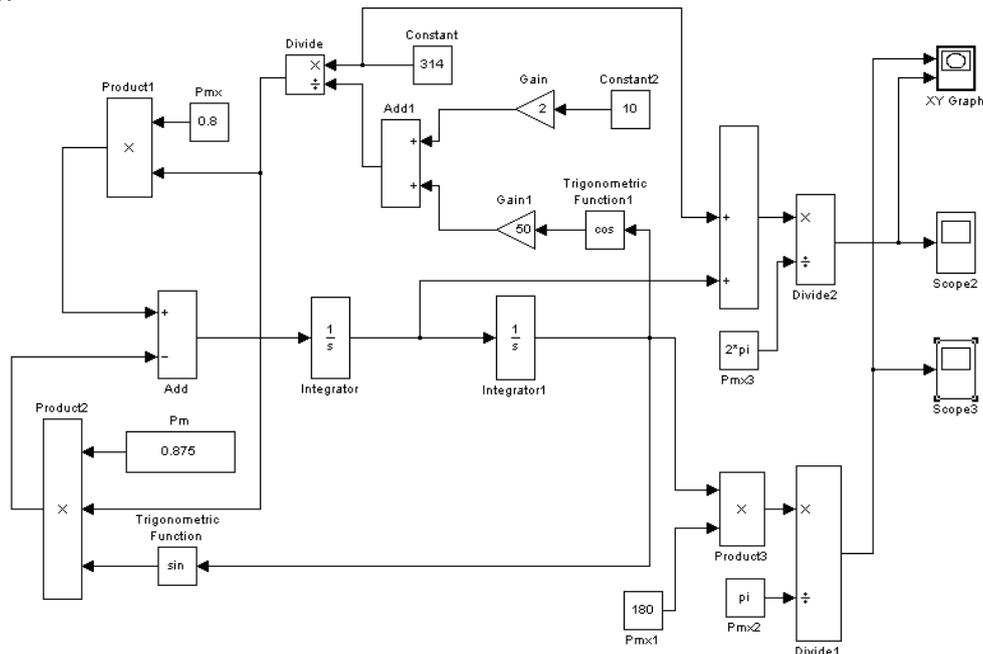


Рисунок 4. Структурная схема модели (1), описывающая работу микроГЭС, при функционировании регулятора и маховика

Запишем исходные данные модели (1), используемые для моделирования:

$$P_0(x_0) = 0,8; P_M = 0,875; T_{J_1} = 10 \text{ с}; \omega_0 = 314 \text{ рад.}$$

Результаты моделирования предложенной структурной схемы микроГЭС показаны на рис. 5 (а, б, в), из которого видно, что устойчивая работа генератора сохраняется. Это говорит о том, что маховик с регулируемой массой и моментом инерции обеспечивает устойчивую работу даже тогда, когда генератор работает в критическом режиме [8].

Предложенный способ стабилизации частоты вращения вала гидротурбины в отличие от первого способа стабилизации (рис.1, а), не требует больших затрат на электро- и гидромеханическое оборудование для регулирования вращения гидротурбины, при этом массогабаритные показатели существенно не увеличились, а в отличие от второго способа стабилизации (рис.1, б) являются более экономичными.

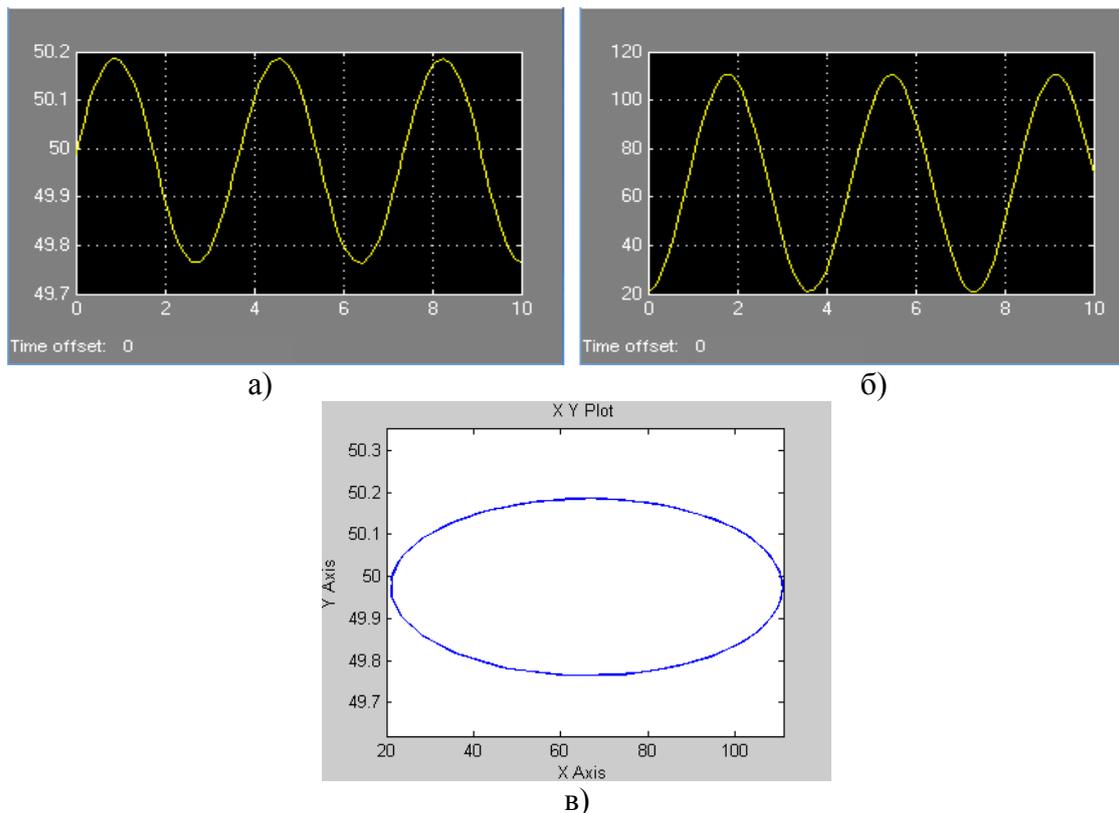


Рисунок 5. Поведение частоты вращения f и угла поворота ротора δ во временной области и в фазовом пространстве

Выводы

- Способ стабилизации частоты вращения гидротурбины путем воздействия на элементы гидротехнического оборудования или установки между гидродвигателем и генератором привода постоянной скорости сопровождается усложнением конструкции установки, увеличением габаритов, понижением показателей надёжности микроГЭС;
- Способ стабилизации частоты тока и напряжения путём размещения регулируемой нагрузки является наиболее распространённым, так как существует немало вариаций подключения балластной нагрузки, однако есть большая вероятность понижения КПД микроГЭС;

- Способ стабилизации частоты выходного напряжения с помощью специальных конструкций электрических машин, а также статических преобразователей частоты упрощает механическую конструкцию микроГЭС и обеспечивает улучшенные эксплуатационно-технические характеристики, однако стоимость установки значительно увеличивается;
- Способ стабилизации частоты вращения вала гидротурбины с использованием саморегулирующегося адаптивного маховика подходит только для микроГЭС малой мощности;
- МикроГЭС нового типа при работе достаточно бесшумная, не имеет топливной составляющей, не влияет на флору и фауну, что свидетельствует о ее эффективности по социально-экологическим критериям;
- Анализ существующих способов стабилизации параметров микроГЭС показал, что в условиях изменения нагрузки в широких диапазонах мощностей ни один из них не проявил бы себя эффективным, не требуя при этом существенного увеличения массогабаритных показателей установки или усложнения электрической части микроГЭС.

Литература

1. Лукутин Б.В., Обухов С.Г., Шандарова Е.Б. Автономное электроснабжение от микрогидроэлектростанций. – Томск: 2001. – 104 с.
2. Лукутин Б.В., Обухов С.Г., Озга А.И. Выбор параметров цифрового регулятора частоты автономной микрогидроэлектростанции // Гидротехническое строительство. – 1992, № 9. – С. 40–43.
3. Карелин В.Я., Волшаник В.В. Сооружения и оборудование малых гидроэлектростанций. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 199 с.
4. Сатаркулов К.А., Бакасова А.Б., Ниязова Г.Н. Способ стабилизации частоты автономной микроГЭС // Проблемы автоматики и управления. – 2014. – № 1 (26). – С. 20–23.
5. Сатаркулов К.А., Бакасова А.Б., Ниязова Г.Н. и др. Способ стабилизации частоты вращения ротора автономной микроГЭС // Патент Кыргызской Республики № 1744. 2015. 20140114.1 Бюл. № 5 (194).
6. Шаршеналиев Ж.Ш., Сатаркулов К.А., Бакасова А.Б. и др. Саморегулирующийся адаптивный маховик для генераторов автономных микроГЭС // Патент Кыргызской Республики № 1743. 2015. 20140113.1 Бюл. № 5 (194).
7. Сатаркулов К.А., Бакасова А.Б., Ниязова Г.Н. и др. Саморегулирующийся адаптивный маховик для генераторов автономных микроГЭС // Положительное решение на изобретение №20170026.1 от 06.03.2017.
8. Ниязова Г.Н., Сатаркулов К., Кыдырмаева З.С. и др. Разработка компьютерной модели системы стабилизации и управления частотой вращения микроГЭС нового типа // Проблемы автоматики и управления. – 2017. – № 2 (33). – С. 43–51.

УДК: 681.5.01:004.02

Р. А. Акматбеков*Институт автоматизации и информационных технологий НАН КР**rark@mail.kg***ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ
УПРАВЛЕНИЯ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО**

При разработке систем автоматического управления многие задачи проектирования системы формулируются как оптимизационные. Задача выбора наиболее приемлемых значений параметров алгоритма управления также формулируется как задача параметрической оптимизации. В работе рассмотрена задача параметрической оптимизации алгоритмов управления в линейных одномерных системах. Предложено решение задачи на основе численных методов нулевого порядка с использованием случайного механизма (метода Монте-Карло).

Ключевые слова: математическая модель; система управления; алгоритм; параметрическая оптимизация; одномерная система; интегральный квадратичный критерий качества; метод Монте-Карло.

Введение. В теории управления различают задачи структурного и параметрического синтеза (параметрической оптимизации) [1–2]. Параметрическая оптимизация является заключительным этапом при синтезе проектируемых систем управления и при настройке (перенастройке) эксплуатируемых систем управления. Параметрическую оптимизацию системы управления также называют как параметрическую оптимизацию автоматического регулятора или алгоритма управления, т.к. объект управления является неизменяемой частью системы. На инженерном языке параметрическая оптимизация называют также настройкой автоматического регулятора или алгоритма управления [3].

Таким образом, решение задачи параметрической оптимизации системы управления имеет как научную, так и практическую ценность.

В данной работе рассматриваются вопросы параметрической оптимизации стационарных линейных систем управления на основе интегральных оценок качества. Эта задача актуальна для пространственно-распределенных систем автоматизации (РСА) [4], в которых решаются задачи автоматизации управления и эксперимента. Предлагаемые методы решения задачи параметрической оптимизации могут быть использованы и в системах автоматизации проектирования систем управления.

Методы поиска экстремума функций многих переменных достаточно хорошо развиты, но при этом многие задачи оптимизации невозможно решить классическим методом [5, 6], который заключается в следующем.

Необходимым условием существования экстремума функции векторного аргумента $y(x)$, $x \in R^n$ является условие

$$\nabla y(x) = \left[\frac{\partial y}{\partial x_1}, \frac{\partial y}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial y}{\partial x_n} \right]^T = 0, \quad (1)$$

где $\nabla y(x)$ – вектор-градиент функции $y(x)$.

Достаточным условием существования минимума функции $y(x)$ является условие положительной определенности матрицы Гессе функции $y(x)$:

$$\nabla^2 y(x) = H = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 y}{\partial x_1^2} & \frac{\partial^2 y}{\partial x_1 \partial x_2} & \dots & \frac{\partial^2 y}{\partial x_1 \partial x_n} \\ \frac{\partial^2 y}{\partial x_n \partial x_1} & \frac{\partial^2 y}{\partial x_n \partial x_2} & \dots & \frac{\partial^2 y}{\partial x_n^2} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Когда решение задачи минимизации классическим методом затруднено, применяются численные методы, которые принято делить на три группы.

Методы первого порядка, в которых на каждом шаге поиска k вычисляется градиент функции $\nabla y(x)$. Примерами таких методов являются градиентные методы, работающие по алгоритму:

$$x_{k+1} = x_k - \gamma_k \nabla y(x_k), \quad (3)$$

где γ_k – шаг поиска; x_k – рабочая точка, найденная на k -шаге; x_{k+1} – рабочая точка, искомая на $(k+1)$ -шаге.

Величина γ_k выбирается при помощи различных правил, при этом получают различные модификации градиентного метода, например, метод Коши, наискорейшего спуска и т.д.

Методы второго порядка, в которых на каждом шаге, вычисляются градиент и матрица вторых производных. Как пример можно назвать методы Ньютона, алгоритм которых имеет вид:

$$x_{k+1} = x_k - \gamma_k [\nabla^2 y(x_k)]^{-1} \nabla y(x_k). \quad (4)$$

Методы нулевого порядка (прямые методы поиска) – это методы, в которых поиск основан только на вычислениях значений функции $y(x)$. К этой группе методов относятся методы случайного поиска, покоординатного спуска и т. д. Сюда же относятся методы численной реализации градиентных процедур, в которых частные производные функции оцениваются соотношениями типа

$$\frac{\partial y}{\partial x_i} \cong \frac{y(x+al_i) - y(x)}{\alpha}, \quad (5)$$

где i – номер компоненты вектора x ; l_i – единичный i -тый орт.

Ниже предлагаются методы решения задачи параметрической оптимизации линейного алгоритма управления.

Рассмотрим общую (задача 1) и частную (задача 2) постановки задачи параметрической оптимизации и подходы к их решению.

Постановка задачи 1. Многие задачи теории управления формулируются как оптимизационные задачи вида [1]:

$$F(\bar{l}, \bar{a}) \rightarrow \text{extr}_{\bar{a} \in A}, \quad (6)$$

$$A: \left\{ \begin{array}{l} h_i(\bar{l}, \bar{a}) \geq 0, i = \overline{1, k} \\ q_j(\bar{l}, \bar{a}) = 0, j = \overline{1, n} \end{array} \right\}, \quad (7)$$

где F – экстремизируемый функционал (показатель качества системы), зависящий от условий l функционирования системы; \bar{a} – проектируемые факторы (параметры); A – множество ограничений.

Пусть интегральным показателем качества является обобщенный функционал [2]:

$$I_{2m} = \int_0^{\infty} \varepsilon_c^2(t) + \alpha_1^2 \varepsilon_c^2(t) + \dots + \alpha_m^2 \varepsilon_c^2(t), \quad (8)$$

где I_{2m} – обобщенная квадратичная оценка качества системы управления m -порядка; $\varepsilon_c(t)$ – свободная составляющая ошибки управления; $\alpha_1, \dots, \alpha_m$ – постоянные величины.

Ниже предлагается численный метод решения задачи (6), который не ставит условие унимодальности оптимизируемого функционала.

Общий метод решения задачи параметрической оптимизации. Для решения задачи параметрической оптимизации будет использована технология случайного механизма, которая известна как метод Монте-Карло [8] в допущении, что область ограничений A формируется как совокупность ограничений на параметры математической

модели системы (алгоритма) управления вида:

$$A: a_{i_{\min}} \leq a_i \leq a_{i_{\max}}, i = \overline{1, n}. \quad (9)$$

Требуется отыскать такой вектор параметров \vec{a} , который доставляет минимум функционалу качества (8).

Далее в целях применения стандартных терминологий математического программирования обозначим оптимизируемый функционал через y , а вектор параметров – \vec{x} .

Последовательность действий следующая.

1. Определить **исходную точку** \vec{x}_0 поиска минимума обобщенной квадратичной оценки (ОКО). Присвоить начальные значения вектору \vec{x}_0 , удовлетворяющие условиям (9). Для определенности примем, что начальные значения оптимизируемых параметров равны середине допустимых интервалов (9).

2. Вычислить значение ОКО $y(\vec{x}_0)$.

3. Построить минимизирующую последовательность

$$y(x_0) > y(x_1) > y(x_2) > \dots y(x_k). \quad (10)$$

Точки поиска определяются по правилу

$$x_{k+1} = x_k + \gamma_k d_k, \quad (11)$$

где d_k – направление перемещения из точки x_k в следующую точку; γ_k – величина шага в этом направлении.

4. Вектор d_k образуется случайным образом, для чего используется генератор равномерно распределенных случайных чисел. Генератор вырабатывает q комплектов случайных чисел n . Это число задает размерность пространства поиска, равную размерности вектора \vec{x} .

5. γ_k – величина шага в направлении d_k выбирается методом одномерного поиска экстремума нулевого порядка, например, методами деления отрезка.

6. Точка x_{k+1} выбирается из условия:

$$x_{k+1} = \min_{x_{k+1j}} OKO.$$

7. Проверяется условие прекращения поиска

$$\|x_{k+1} - x_k\| \leq \varepsilon, \quad (12)$$

где $\|x_{k+1} - x_k\|$ – норма вектора параметров; ε – заданная точность поиска экстремума.

Если данное условие выполнено, то поиск прекращается, и в качестве решения берется последняя точка x_{k+1} , если условия останова не выполнены, то поиск продолжается переходом к пункту 3.

Представлена одноэтапная процедура, на основе которой можно построить многоэтапную систему поиска.

Далее рассматривается задача параметрической оптимизации алгоритма управления в одномерной линейной стационарной системе (рис. 1).

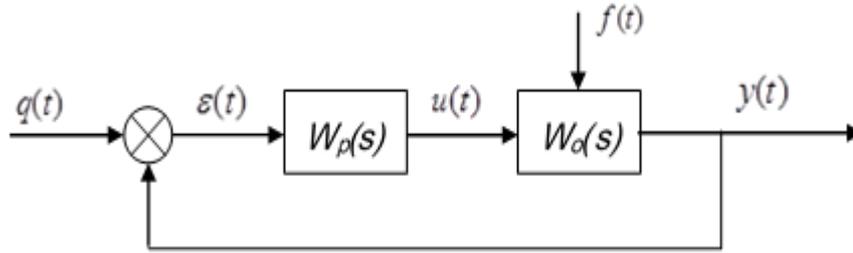


Рисунок 1. Линейная система автоматического управления: $W_p(s)$ – передаточная функция устройства управления; $W_o(s)$ – передаточная функция объекта управления; $q(t)$ – задающее воздействие; $\varepsilon(t)$ – ошибка управления; $u(t)$ – управляющее воздействие; $y(t)$ – выходная величина; $f(t)$ – возмущающее воздействие

Постановка задачи 2. Пусть задана одномерная линейная стационарная система управления (рис. 1), где показателем качества служит интегральный квадратичный критерий (ИКК) вида:

$$I_0 = \int_{t_0}^{\infty} \varepsilon^2(t) dt, \quad (13)$$

где t_0 – начальный момент времени ($u(t) = 0$ при $t < t_0$ или $t < 0$); $\varepsilon(t)$ – ошибка управления.

Требуется разработать способ решения задачи параметрической оптимизации алгоритма управления, т.е. найти такие численные значения параметров (коэффициентов) линейного алгоритма управления $W_p(s)$, при которых ИКК имеет наименьшее значение, т. е.

$$I_0 = \int_{t_0}^{\infty} \varepsilon^2(t) dt \xrightarrow{a,b} \min, \quad a \in A, b \in B, \quad (14)$$

где a и b – параметры (коэффициенты) алгоритма управления; A и B – множества их допустимых значений.

Решение задачи (14) предполагается получить численными методами, т.к. нет аналитических методов решения. Для применения численных методов прежде всего необходимо уметь вычислять ИКК.

Вычисление ИКК. Есть два подхода к вычислению значения ИКК (13).

Первый основан на вычислении модуля комплексной частотной характеристики (КЧХ) системы (см. рис.1) по ошибке и представляется формулой:

$$I_0 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |W_{\varepsilon g}(j\omega)|^2 |Q(j\omega)|^2 d\omega, \quad (15)$$

где $|W_{\varepsilon g}(j\omega)|$ – модуль КЧХ системы по ошибке (для управления); $|Q(j\omega)|$ – модуль спектра (Фурье-преобразования) входного сигнала $q(t)$.

В частности, когда $q(t) = q_0 I(t)$, т.е. ступенчатая функция, где q_0 – константа, функционал (15) принимает вид:

$$I_\varepsilon = \frac{q_0^2}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |W_{\varepsilon g}(j\omega)|^2 \frac{1}{\omega^2} d\omega. \quad (16)$$

Рассмотрим этот вопрос более подробно.

Передаточные функции линейной системы управления определяются следующим образом.

Передаточная функция (ПФ) разомкнутой системы:

$$W(s) = W_p(s)W_o(s).$$

Главная ПФ замкнутой системы:

$$W_3(s) = \frac{W(s)}{1+W(s)} = \frac{W_p(s)W_o(s)}{1+W_p(s)W_o(s)}. \quad (17)$$

ПФ замкнутой системы по ошибке (для управления):

$$W_{\varepsilon g}(s) = \frac{1}{1+W(s)} = \frac{1}{1+W_p(s)W_o(s)}. \quad (18)$$

Изображение ошибки управления теперь может быть записана как

$$E_{\varepsilon g}(s) = W_{\varepsilon g}(s)Q(s). \quad (19)$$

Переход в частотную область дает формулу

$$E_{\varepsilon g}(j\omega) = W_{\varepsilon g}(j\omega)Q(j\omega). \quad (20)$$

Применив обратное преобразование Фурье, затем возводя его в квадрат и подстановкой результата в (13) получаем формулу (15) для ИКК.

Таким образом, первый подход вычисления ИКК основывается на вычислении интегралов (15) и (16).

Второй подход основан на использовании аналитических соотношений [2], которые связывают значения ИКК с коэффициентами изображения ошибки.

Изображение ошибки $E_{\varepsilon g}(s)$ (19) является дробно-рациональной функцией вида

$$E_{\varepsilon g}(s) = E_{\varepsilon g}(s) = W_{\varepsilon g}(s)Q(s) = \frac{b_0s^m + b_1s^{m-1} + \dots + b_m}{a_0s^n + a_1s^{n-1} + \dots + a_n}. \quad (21)$$

Имеется общее соотношение [2], которое позволяет вычислять значение ИКК, а для систем до пятого порядка формулы сведены в таблицу.

Таблица 1. Формулы для вычисления ИКК

n	ИКК
1	$I_0 = b_0^2 / (2a_0a_1)$
2	$I_0 = (b_1^2a_0 + b_0^2a_2) / (2a_0a_1a_2)$
3	$I_0 = \frac{b_0^2a_3a_2 + (b_1^2 - 2b_0b_2)a_3a_0 + b_2^2a_1a_0}{2a_0a_3(a_1a_2 - a_0a_3)}$
4	$I_0 = \frac{b_0^2(-a_4^2a_1 + a_4a_3a_2) + (b_1^2 - 2b_2b_0)a_4a_3a_0 + (b_2^2 - 2b_3b_1)a_4a_1a_0 + b_3^2(-a_3a_0^2 + a_2a_1a_0)}{2a_4a_0(-a_4a_1^2 - a_3^2a_0 + a_1a_2a_3)}$
5	$I_0 = \frac{1}{2\Delta_5} [b_0^2m_0 + (b_1^2 - 2b_2b_0)m_1 + (b_2^2 - 2b_3b_1 + 2b_4b_0)m_2 + (b_3^2 - 2b_4b_2)m_3 + b_4^2m_4]$

В таблице использованы следующие обозначения:

$$\begin{aligned} m_0 &= \frac{1}{a_0} (a_2 m_1 - a_4 m_2); & m_3 &= \frac{1}{a_5} (a_3 m_2 - a_1 m_1); \\ m_1 &= -a_5 a_2 + a_4 a_3; & m_4 &= \frac{1}{a_5} (a_3 m_3 - a_1 m_2); \\ m_2 &= -a_5 a_0 + a_4 a_1; & \Delta_5 &= a_5 (a_4 m_4 - a_2 m_3 + a_0 m_2). \end{aligned}$$

Пусть САУ представлена структурной схемой рис. 1. Передаточные функции регулятора и объекта представлены дробно-рациональной функцией так, что Лапласово изображение ошибки также является дробно-рациональной функцией вида (21), причем $n \leq 5$ и $m \leq n$.

ИКК необходимо вычислять следуя ниже представленному алгоритму.

1. Представить ПФ объекта и регулятора в виде

$$W_o(s) = \frac{A_1(s)}{B_1(s)} = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_n}; \quad W_p(s) = \frac{A_2(s)}{B_2(s)} = \frac{c_0 s^q + c_1 s^{q-1} + \dots + c_q}{d_0 s^p + d_1 s^{p-1} + \dots + d_p}. \quad (22)$$

2. Присвоить настраиваемым параметрам регулятора начальные значения такие, которые не нарушают ограничений (см. 14). Рекомендуется задавать значения параметров $c_i, i=0, 1, \dots, q; d_i, i=0, 1, \dots, p$ такие, которые соответствуют середине интервала ограничений на параметры.

3. Получить передаточную функцию разомкнутой системы из условия

$$W(s) = W_p(s)W_o(s) = \frac{B_1(s)B_2(s)}{A_1(s)A_2(s)}. \quad (23)$$

4. Найти ПФ замкнутой системы по ошибке из условия (13)

$$W_{eg}(s) = \frac{1}{1 + W_p(s)W_o(s)} = \frac{A_1(s)A_2(s)}{A_1(s)A_2(s) + B_1(s)B_2(s)}.$$

5. Найти изображение ошибки из условия подачи на вход системы единичного скачка

$$E_{eg}(s) = W_{eg}(s)G(s) = \frac{A_1(s)A_2(s)}{A_1(s)A_2(s) + B_1(s)B_2(s)} \frac{1}{s} = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_n}. \quad (24)$$

6. По табл. 1 вычислить ИКК для соответствующего значения n .

Ниже разработан общий алгоритм решения задачи (14).

Решение задачи оптимизации в общем случае методом Монте-Карло.

1. Представить ПФ объекта и регулятора в виде (22).

2. Получить передаточную функцию разомкнутой системы из условия (23).

3. Найти ПФ замкнутой системы по ошибке $W_{eg}(s)$ из условия (18).

4. Присвоить начальные значения оптимизируемым параметрам устройства управления. Для определенности примем, что начальные значения оптимизируемых параметров равны середине допустимых интервалов изменения параметров. Эти координаты определяют **исходную точку** поиска минимума ИКК x_0 .

5. Вычислить ИКК $y(x_0)$.

6. Построить минимизирующую последовательность

$$y(x_0) > y(x_1) > y(x_2) > \dots > y(x_k) >$$

по правилу

$$x_{k+1} = x_k + \gamma_k d_k \quad (25)$$

где d_k – направление перемещения из точки x_k в следующую точку; γ_k – величина шага в этом направлении.

7. Вектор d_k образуется случайным образом, для чего используется генератор равномерно распределенных случайных чисел. Генератор вырабатывает q комплектов случайных чисел $n+m$. Это число задает размерность пространства поиска. Каждый комплект случайных чисел содержит $n+m$ составляющих, т.е. является $(n+m)$ -мерным случайным вектором, задающим направление d_k , где $n+m$ – число оптимизируемых коэффициентов (параметров) алгоритма управления. Это число задает размерность пространства поиска.

8. γ_k – величина шага в направлении d_k выбирается методом одномерного поиска экстремума

9. Точка x_{k+1} выбирается из условия:

$$x_{k+1} = \min_{x_{k+1j}} I_\varepsilon, \quad i = \overline{1, n+m}.$$

10. Проверяется условие прекращения поиска

$$\|x_{k+1} - x_k\| \leq \varepsilon, \quad (26)$$

где $\|x_{k+1} - x_k\|$ – норма вектора параметров; ε – заданная точность поиска экстремума.

Если данное условие выполнено, то поиск прекращается, и в качестве решения берется последняя точка x_{k+1} , если условия останова не выполнены, поиск продолжается переходом к пункту 8.

Заключение. Разработаны численные методы параметрической оптимизации линейных стационарных систем управления для двух случаев:

- 1) для системы управления, в которой показателем качества является обобщенная интегральная оценка (ОКО) n -порядка;
- 2) для системы управления, в которой показателем качества является интегральный квадратичный критерий (ИКК).

Литература

1. Справочник по теории автоматического управления; под ред. А. А. Красовского. – М.: Наука – 1987. – 713 с.
2. Теория автоматического управления. Ч 1; под ред. А. А. Воронова – М.: Высшая школа.– 1986. – 367 с.
3. Автоматизация настройки систем управления; под ред. В. Я. Ротача. – М.: Энергоатомиздат.– 1984. – 272 с.
4. Акматбеков Р. А. Распределенная система управления биологической очисткой бытовых сточных вод // Известия НАН КР. – Бишкек: Илим.– 2015.– №1. – С. 101–107.
5. Уайлд Д. Дж. Методы поиска экстремума. – М.: Наука, 1967. –
6. Черноуцкий И. Г. Методы оптимизации в теории управления. – СПб.: Питер, 2004. – 256 с.
7. Сабанин В. Р., Смирнов Н. И., Репин А. И. К вопросу о параметрической оптимизации алгоритмов управления и диагностики // Вестник МЭИ. – 2005.– №2. – С. 21–27.
8. Соболев И. М. Численные методы Монте-Карло. – М.: Наука, 1973. – 312 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМ

УДК 004.94

С.Н. Верзунов, Д.А. Токсаитов

*Институт автоматизации и информационных технологий НАН КР, г. Бишкек
verzunov@hotmail.com, toksaitov_d@auca.kg*

СПОСОБЫ ОПТИМИЗАЦИИ РАСЧЁТА 3D ГРАФИКИ ДЛЯ ТАЙЛОВЫХ ГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРОВ НА ПРИМЕРЕ ВИЗУАЛИЗАЦИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГРАВИТАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ N ТЕЛ

Визуализация физических явлений, таких как, например, гравитационных взаимодействий небесных тел, требует прорисовки большого количества однотипных 2D и 3D объектов. К сожалению, тайловые архитектуры графических ускорителей устройств отложенной визуализации, популярные на мобильном рынке, не предназначены для обработки большого количества запросов на рисование, поэтому необходимо использовать различные методы оптимизации для уменьшения количества таких запросов. В настоящей работе представлена реализация графической системы визуализации, которая поддерживает дерево изменений состояния каждого объекта сцены, для передачи только необходимого набора данных для рисования. Кроме того, система минимизирует количество объектов для передачи, динамически объединяя и/или дублируя их геометрию. Система также разгружает шину данных, вычисляя и передавая только разницу между конечными сетками геометрии. Прирост производительности относительно неоптимизированной версии продемонстрирован путем сравнительной оценки скорости работы систем на примере визуализации результатов моделирования гравитационного взаимодействия большого количества тел.

Ключевые слова: тайловые процессоры; TBDR архитектура; графический движок; дерево обновлений; комбинирование геометрии; дублирование геометрии; разница конечной сетки% задача N тел.

Введение

Визуализация физических явлений, таких как, например, гравитационных взаимодействий небесных тел, требует прорисовки большого количества однотипных 2D и 3D объектов. Такая необходимость возникает также при визуализации результатов обработки временных рядов, например при построении результатов вейвлет-преобразования временного ряда в виде двухмерной или трехмерной скалограммы [1]. Современные мобильные устройства, такие как мобильные телефоны, ноутбуки и планшетные компьютеры, содержат программные интерфейсы графического адаптера, перенесенных с персональных компьютеров. Такие библиотеки не имеют представления об особенностях мобильного графического ускорителя, который кардинально отличается архитектурой от своего настольного собрата. Микросхемы мобильной графики построены на основе архитектуры отложенного расчёта и обрабатывают изображение отдельными регионами фиксированного размера (тайлами) для минимизации потребления электроэнергии устройства [2, 3]. Архитектуре отложенного расчёта требуется, чтобы центральный процессор подготовил информацию обо всех запросах на рисование объектов сцены в буфере для проверки данных, распределения информации на

тайлы и передачи позже, целиком в память графического ускорителя. Такой подход взаимодействия между процессором и графическим ускорителем позволяет, с одной стороны, упростить схему мобильного графического процессорного устройства (ГПУ), минимизировать его потребление памяти в системе и уменьшить потребление энергии устройства [3]. С другой стороны, этот подход требует выполнять дополнительную работу по сбору данных и поддержке буферов для каждого последующего кадра. Это накладывает серьезные ограничения на максимальное количество объектов, которые могут быть представлены на экране одновременно из-за ограниченного размера вышеупомянутых буферов [3]. Отложенные системы требуют от разработчиков тратить драгоценное время процессора на поддержку графической подсистемы, а не на выполнение полезной работы их программ.

В настоящей работе представлены результаты исследования разработки системы расчёта графики в реальном времени, оптимизированной для работы на тайловых мобильных графических процессорах с архитектурой отложенного расчёта. Система минимизирует затраты на передачу данных между центральным процессором и графическим ускорителем путём создания и поддержки дерева изменений состояния для каждого объекта сцены, объединением геометрии на центральном процессоре, дублированием геометрии на графическом процессоре и минимизацией передачи данных путем нахождения разницы конечной сетки геометрии между двумя последующими кадрами. Вышеупомянутая система была разработана и оптимизирована для создания системы визуализации на мобильных устройствах и браузерах результатов моделирования гравитационного взаимодействия между большим количеством небесных тел.

Обзор аппаратных систем

Рынок мобильных платформ ныне представлен различными вариациями тайловых процессоров. Идея тайлового ГПУ (рис. 1), в отличие от популярной архитектуры немедленного рисования настольных систем, показанной на рис. 1, заключается в том, что графический буфер изображения разделяется на регионы одинакового размера (тайлы) [2–5].

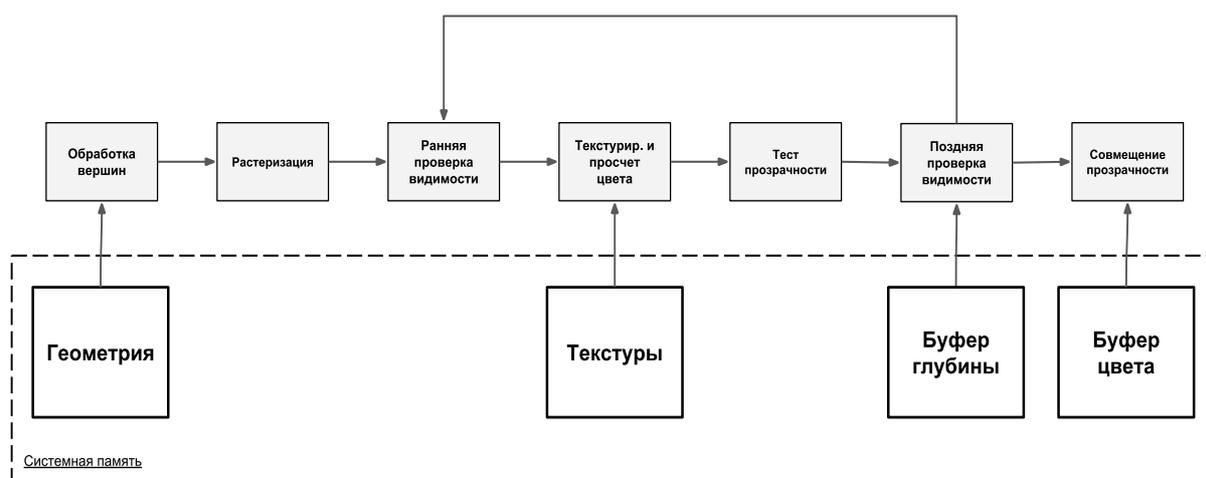


Рисунок 1. Конвейер архитектуры ГПУ немедленного режима расчёта

Большинство реализаций процессоров используют размер 16 на 16 и 32 на 32 пикселей для каждого тайла (рис. 2). Тайловое ГПУ имеет схмотехническое решение

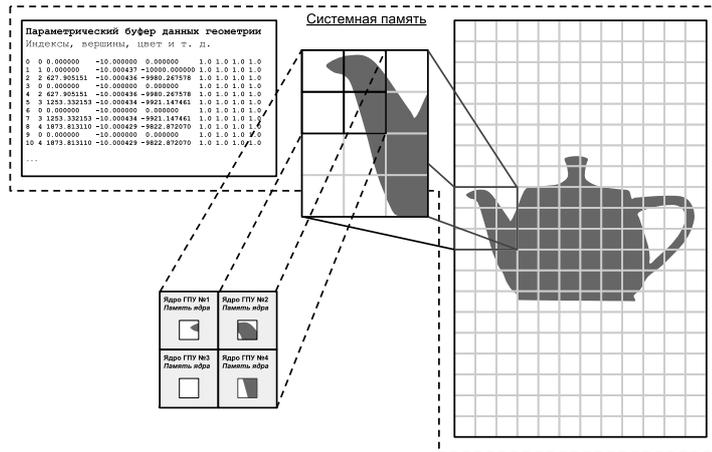


Рисунок 2. Общая схема работы ГПУ с тайловой архитектурой

(рис. 3), которое может использовать специально подготовленный буфер геометрии для просчета графики только в пределах одного тайла. Из-за небольшого размера тайла такое аппаратное решение может уместить все промежуточные данные и данные просчитанной части изображения в регистровой памяти ГПУ.

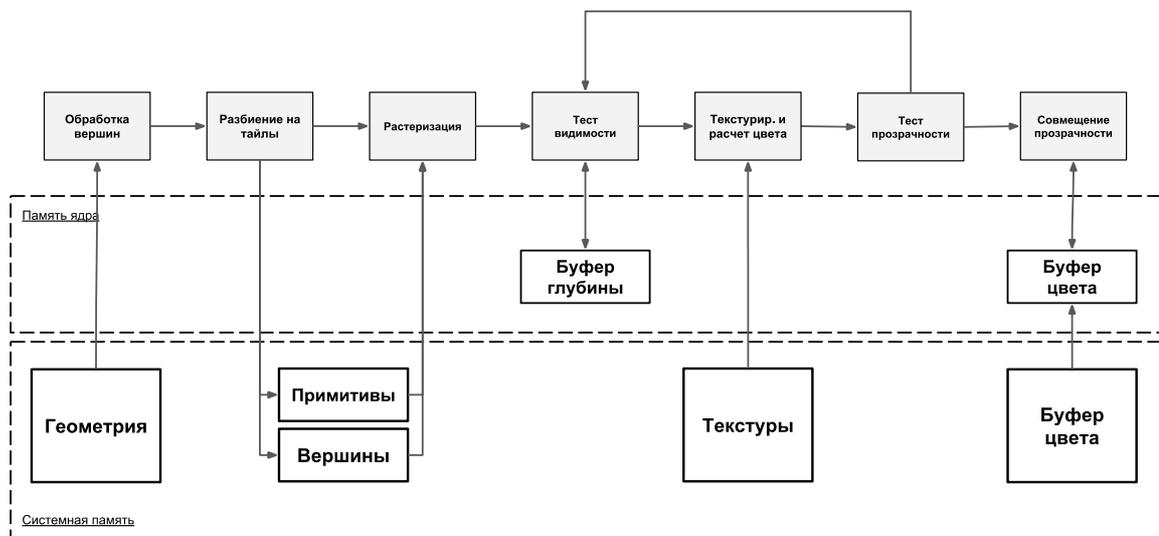


Рисунок 1. Конвейер архитектуры тайлового ГПУ

Это позволяет ускорить расчет, минимизировать энергопотребление, упростить схемотехническое решение и получить горизонтально-масштабируемую систему, проводя обработку нескольких тайлов одновременно несколькими ядрами графического процессора [3, 6].

На базе тайловой архитектуры ключевые игроки рынка стали вводить модификации для последующего увеличения производительности. Британская компания Imagination Tech PowerVR™, которая занималась производством ГПУ для мобильных продуктов компании Apple, использовала архитектуру отложенного рисования. Архитектура отложенного рисования (TBDR, Tile-Based-Deferred-Rendering, рис. 4) также позволяет проводить сбор всех данных объектов сцены в специальном параметрическом буфере [3]. Но после сбора информации или при переполнении буфера система командует ГПУ нарисовать все объекты за один проход. Информация обо всех или большей части объ-

ектов сцены позволяет тайловому ГПУ произвести более эффективную сегментацию данных между тайлами, тем самым значительно ускорить работу.

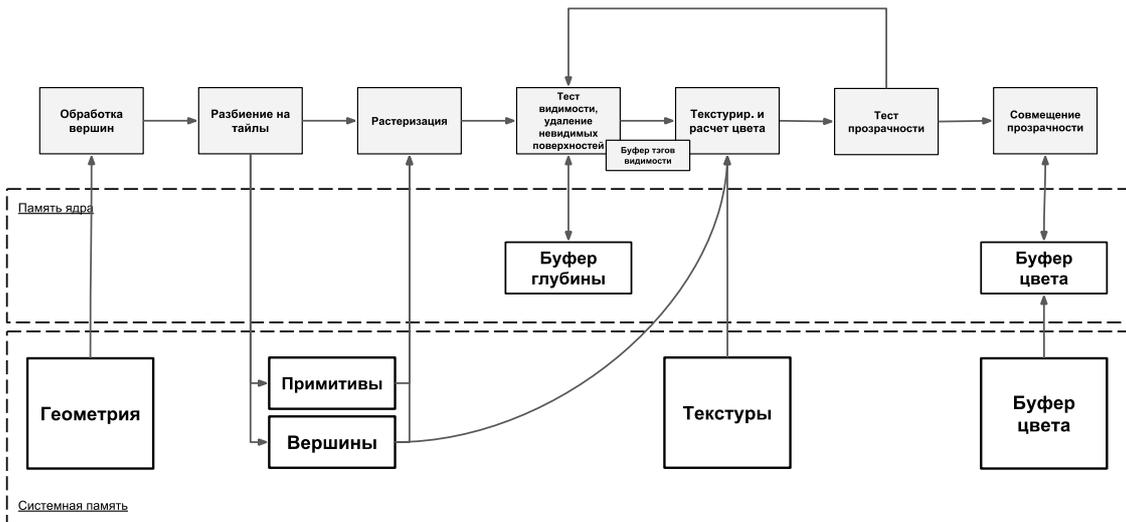


Рисунок 2. Конвейер архитектуры тайлового ГПУ с отложенной системой рисования

В частности, специализированная часть ядра может удалить все полигоны геометрии, которые были перекрыты полигонами других объектов сцены стоящими ближе к виртуальной камере. Это позволит проводить дорогую операцию просчета цвета для непрозрачных объектов всего лишь один раз для каждого фрагмента (пикселя) многоугольника.

Несмотря на многие преимущества тайловых процессоров отложенного рисования, они имеют ряд существенных недостатков. Одним из них является ограничение на количество объектов рисования, вследствие наличия фиксированного размера параметрического буфера [6]. Другим ограничением являются высокие временные затраты на подготовку и проверку данных этого буфера, которую необходимо проводить на центральном процессоре перед каждым просчетом кадра [5]. Это еще более усугубляет проблему рисования большого количества объектов на тайловых архитектурах. Независимо от сложности 3D модели, будь это всего один треугольник, попытка нарисовать сцену в 1000 объектов, совершая 1000 отдельных запросов на рисование без потери производительности практически невозможна в ГПУ такой архитектуры. Другая проблема отложенного рисования заключается в обработке прозрачных объектов. Тайловая архитектура создавалась для ускорения общего случая, когда больше половины объектов сцены непрозрачны. К сожалению, специализированный конвейер этой архитектуры не приводит к ускорению, а иногда и замедляет процесс рисования объектов, при наличии прозрачности. По рекомендации дизайнеров системы, для минимизации потери скорости обработки данных необходимо передавать запросы на рисование в определенном порядке. Сначала нужно нарисовать все непрозрачные объекты, а после рисовать прозрачные, в порядке от дальних к самым близким, исходя из позиции виртуальной камеры [3].

Архитектура системы расчёта 3D графики

В качестве известного примера, где необходим расчёт сложных 3D моделей, можно привести задачу визуализации гравитационного взаимодействия небесных тел. Необходимо рисовать схематическое представление двумерных и трехмерных примитивов вроде прямоугольников, окружностей, сфер и параллелепипедов. Для моделирования частей галактики или силовых полей, системе расчёта графики (т.е. графическому движку) необходимо нарисовать от 10 тысяч до 1 миллиона примитивных объектов.

Все объекты системы меняют свою позицию каждый кадр, что требует повторной передачи данных при каждом запросе на рисование. Первые версии графического движка имели классическую архитектуру, применяемую во многих популярных решениях, например, в такой библиотеке, как SceneKit от компании Apple.

Реализация первой версии (рис. 5) состояла из двух ключевых частей: базы данных объектов сцены и системы передачи информации базы данных на ГПУ. База данных объектов сцены представляла собой дерево объектов, где отношение родителя и дочернего узла состояло из отношения локальных матриц трансформации. Перемножение матрицы каждого дочернего узла с матрицами предков позволяло получить финальную трансформацию мира 3D сцены. Отношение матриц позволяло соединить несколько объектов сцены вместе и, трансформируя корневой объект, получать верную позицию и ориентацию, подчиненного относительно изменения положения и поворота, корневого пространства сцены. В то же время, задачи системы передачи данных заключались в том, чтобы проходить по всем узлам дерева объектов, рассчитывать финальную матрицу, передавать всю информацию объекта на ГПУ и давать команду на его рисование.

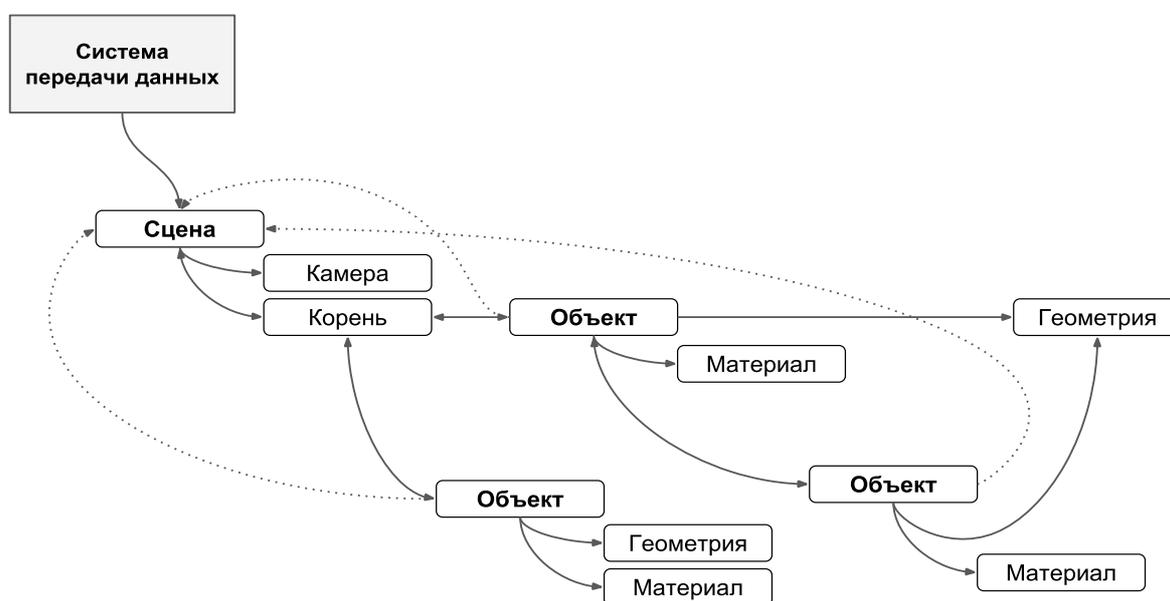


Рисунок 5. Дерево сцены (база данных состояний) и система передачи данных на ГПУ неоптимизированной версии графического движка

Замеры производительности первой версии системы на тестовых устройствах (мобильные телефоны iPhone 6, iPhone 6s, iPhone 7) показали, что такой подход может просчитывать до ~800 объектов на ГПУ, что очень мало для поставленной задачи. Анализ графической подсистемы показал, что ядро центрального процессорного устройства (ЦПУ), а не ГПУ было загружено работой по подготовке и проверке буфера параметров для передачи данных в память графического ускорителя. Само ГПУ простаивало и не выполняло полезную работу расчёта графики. Поэтому возникла задача минимизации количества запросов на рисование при сохранении большого количества видимых объектов сцены, и было принято решение изменить архитектуру системы для оптимизации процесса передачи данных.

Предлагаемая нами архитектура графического движка (рис. 6) имеет несколько оптимизаций для сохранения визуальной плотности объектов сцены, используя набор ухищрений для минимизации размера параметрического буфера, а также обходы си-

стемы проверки параметрического буфера группировкой данных, не отражающей действительное количество видимых объектов. Из набора оптимизаций можно отметить следующие ключевые моменты:

- поддержка дерева обновлений объектов;
- объединение геометрии и параметров нескольких объектов;
- дублирование геометрии однотипных объектов;
- вычисление разности геометрии и частичное обновление буферов ГПУ.

Цель проведения данных оптимизаций – создание графической системы, способной производить визуализацию результатов физических симуляций с большим количеством объектов.

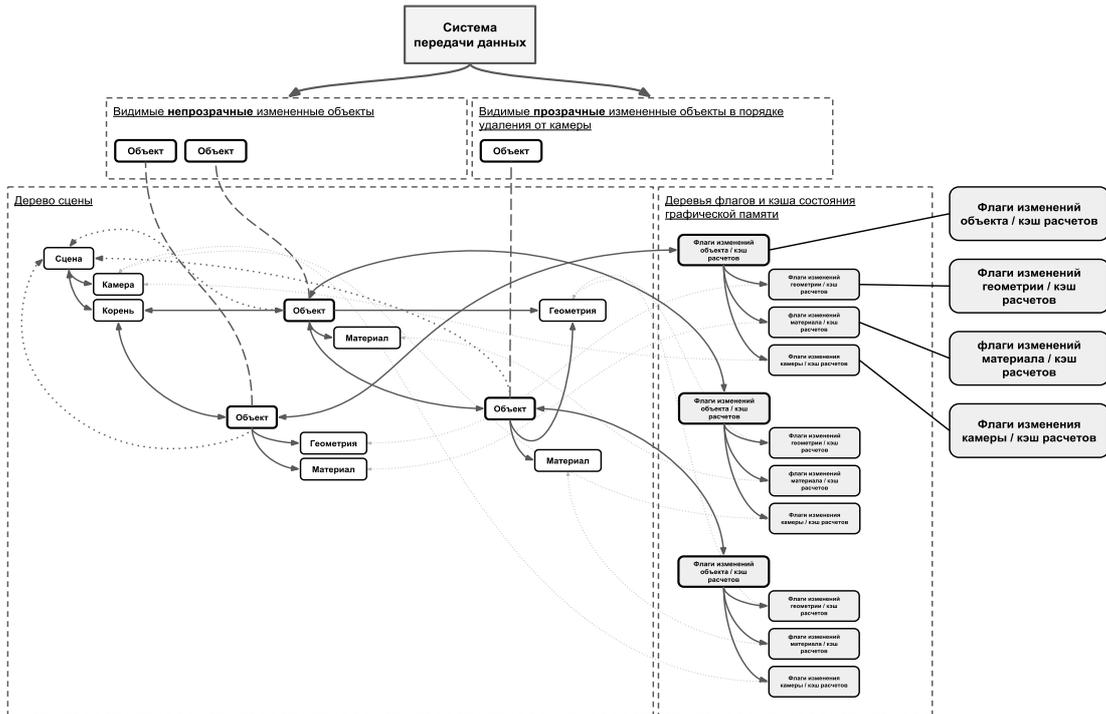


Рисунок 3. Дерево сцены, деревья изменений и кэша (Renderables) и система передачи данных на ГПУ оптимизированной версии графического движка

Дерево обновлений объектов

Первая важная оптимизация – уменьшение параметрического буфера данных. Для каждого объекта базы данных сцены хранится специальный экземпляр класса флагов и кэша изменений. В нашей системе мы называем такой объект *Renderable*. Каждый объект *Renderable* имеет набор чисел, используемых как битовые карты флагов, которые могут ответить на вопрос – изменился ли определенный параметр связанного объекта мира с момента предыдущего вызова на рисование, или нет. Каждый объект базы данных сцены теперь имеет набор сеттеров для обновления соответствующих битов флагов *Renderable*. В будущем планируется заменить сеттеры на шаблон наблюдения (*Observable pattern*) при наличии поддержки библиотеками или хост-средствами среды исполнения языка. Изменение параметров прозрачности приводит к тому, что объект самостоятельно перемещает себя в одноуровневый список прозрачных или непрозрачных объектов системы передачи данных.

Система передачи данных из первых версий движка также была изменена и теперь производит анализ двух списков на рисование (прозрачные объекты и непрозрачные объекты) и выполняет необходимые сортировки и комбинации объектов по мере необходимости. Далее система проходит по списку непрозрачных и по списку прозрачных объектов. На каждой итерации система анализирует связанный объект флагов *Rep-*

derable, вычисляет промежуточные данные (по необходимости) и кэширует их на случай отсутствия изменений при повторном использовании в следующем кадре. Затем каждый объект флагов делает запрос к интерфейсу драйвера ГПУ на передачу данных, но только, если флаг изменений для определенного параметра был установлен. В завершение система обнуляет все флаги для анализа изменений следующего кадра. Нужно отметить, что такой подход передает только те данные, которые были изменены. Кроме того, система следует рекомендациям тайловых архитектур отложенного расчета и рисует непрозрачные и прозрачные объекты в порядке, помогающем ГПУ максимизировать прирост производительности при удалении невидимых поверхностей [3, 6]. Система сначала рисует все непрозрачные объекты, а после начинает работать с прозрачными, если они имеются в наличии.

Объединение геометрии

Системы визуализации физических явлений часто требуют демонстрации простых примитивов схематично при дальних расстояниях удаления от объектов. Количество примитивов в таких случаях может достигать миллионов фигур, одновременно видимых на экране. Средства минимизации передачи данных никак не помогут преодолеть ограничения тайловых архитектур. Так как подобного рода примитивы не требуют большого количества вершин, мы предоставляем механизмы, комбинирующие геометрию объектов со всеми связанными данными на центральном процессоре. Комбинирование можно делать как статически перед началом цикла рисования, так и динамически между последующими кадрами. Функции комбинирования используют вставки на ассемблере для разных целевых семейств процессоров (x86, ARM) для ускорения процесса. В будущем планируется заменить ассемблерные вставки на встроенные (intrinsic) функции компилятора для улучшения переносимости кода. Для модификации положения объектов на ГПУ мы предоставляем возможность передавать вспомогательные данные трансформации методом упаковки в текстуры. Для этого в нашем графическом движке есть специальный класс, позволяющий упростить трудоемкий процесс подготовки на стороне ЦПУ и распаковки на стороне шейдерных программ. Такой подход сложен в реализации, но, тем не менее, позволяет получить портативное решение для дешевых или старых устройств без обновлений ОС и новых графических API (application programming interface, интерфейс прикладного программирования), таких как, например, многие телефоны и ноутбуки рынков развивающихся стран [2, 5, 7].

Дублирование геометрии

Подход комбинирования хорошо подходит для простых примитивов из-за низкого количества вершин многоугольников. К сожалению, он не применим для объектов с большим количеством вершин. В нашей системе визуализации многие тела вблизи камеры отображены в виде сфер. Для демонстрации плавных переходов на видимых границах необходимо иметь более 1000 вершин для каждого объекта. Комбинирование такого количества данных на ЦПУ приведет к значительной потере производительности. Для решения этой проблемы, используется API дублирования геометрии (geometry instancing API), доступный на 90 % целевых устройств. Идея дублирования заключается в том, что мы передаем геометрию однотипных объектов всего лишь один раз (рис. 7). Кроме того, подготавливается специальный буфер дублирования с глобальными параметрами трансформации, цвета и материалов для каждого отдельного объекта. Отметим, что второй буфер значительно меньше и часто состоит из нескольких векторов для каждого объекта. В заключение, используя специализированные вызовы драйвера ГПУ, мы командуем нарисовать определенный объект N раз, используя одинаковую геометрию, но передавая разные глобальные параметры (трансформации, цвета, материалов) из буфера дублирования в шейдерную микропрограмму графического адаптера. Таким

образом, мы получаем N объектов с одинаковой геометрией, но отличительными свойствами позиции, ориентации, цвета, текстурирования и материалов. Используя вершинный шейдер, можно также изменить геометрию отдельных объектов. Такой подход кардинально разгружает шину передачи данных для рисования тысяч однотипных объектов на существующих графических адаптерах [3, 6].

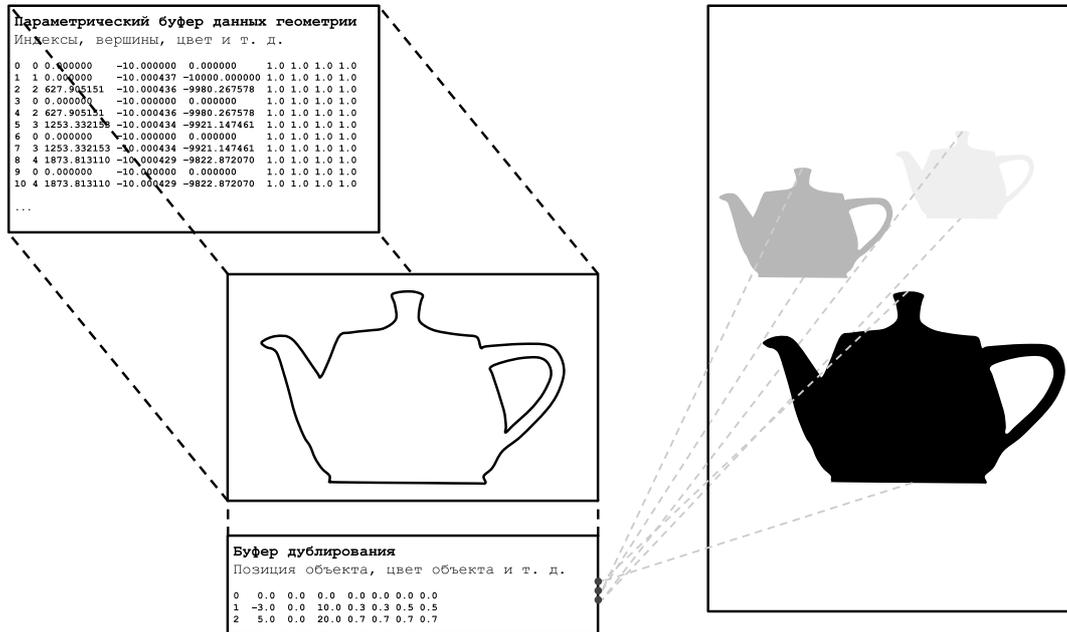


Рисунок 7. Схема дублирования геометрии на графическом адаптере

Определение разности геометрии

Для проверки движения небесных тел нам необходимо рисовать след в виде ленты за каждой планетой. Без поддержки геометрических шейдеров мы можем обновлять геометрию ленты на центральном процессоре. Обновление ленты происходит по методу игры «Змейки» – мы обновляем первый и последний элемент буфера и сдвигаем указатели начала и конца, что сводится к изменению 4 векторов для каждого кадра. К сожалению, первая версия не имела механизма частичной передачи данных и анализа разницы конечной сетки геометрии объектов. По этой причине для 4 обновленных векторов на ЦПУ система передавала до 1000 векторов всей ленты на ГПУ. Для решения проблемы класс геометрии был изменен. Каждое изменение вершин или элементов многоугольников записывается в специальный список изменений. Список сортируется, и последовательные векторы объединяются в регионы обновления. Каждый список дублируется для поддержки одновременной асинхронной передачи на ГПУ и обновления геометрии для следующего кадра на ЦПУ [3, 5]. При проходе по списку объектов на рисование класс флагов использует специализированные API асинхронного обновления регионов памяти ГПУ, следуя по сформированному списку изменений на ЦПУ. Тем самым, в случае рисования ленты движения небесного тела передается всего 4 вектора, вместо одной тысячи.

Оценка производительности

Для замера производительности новой системы была использована запись результатов моделирования гравитационного взаимодействия N -тел. Первая версия графического движка не могла справиться со сценами такой симуляции с более чем 800 объектов (при частоте обновления в 30 кадров в секунду), состоящей из простых геометрических примитивов, вроде прямоугольников и сфер. Однопоточная версия новой системы

с применением описанных оптимизаций позволила увеличить количество сфер до 2000, а количество прямоугольников – до 260 000 (рис. 8, 9).

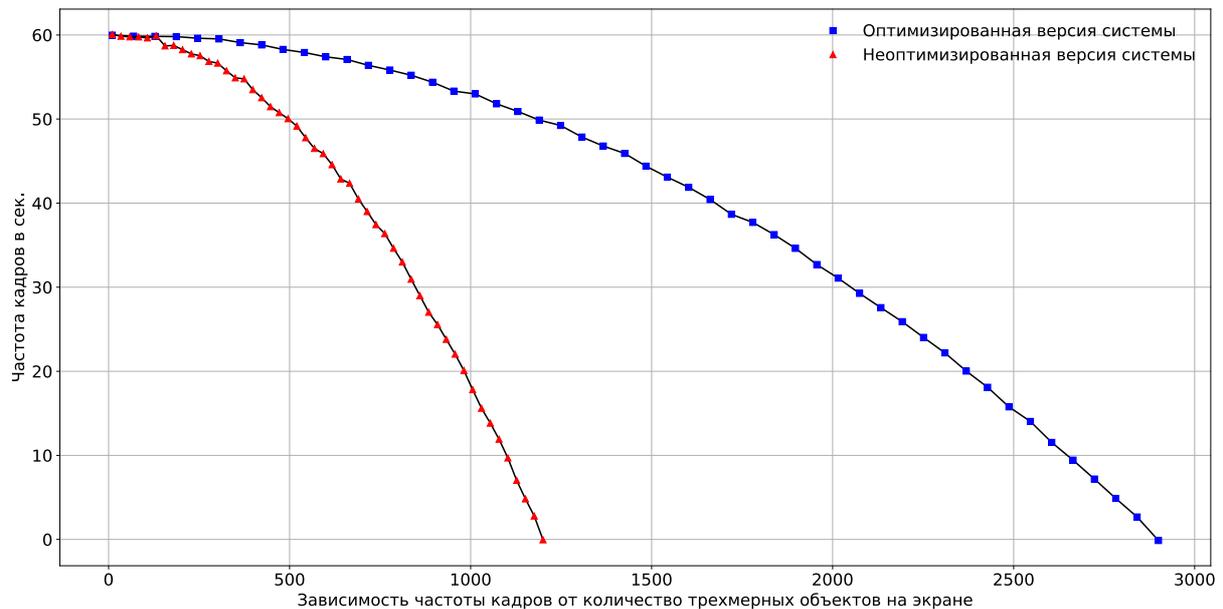


Рисунок 8. Частота обновления экрана при различных количествах трехмерных объектов

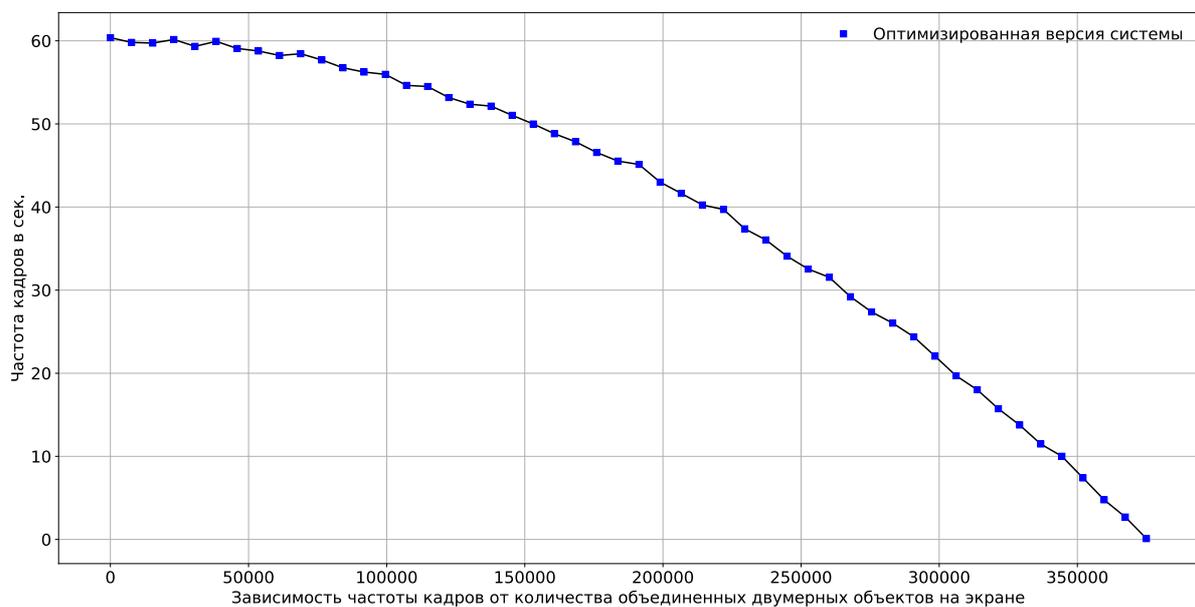


Рисунок 9. Частота обновления экрана при различных количествах объединенных двумерных объектов (неоптимизированная версия не имела подсистемы объединения)

Прирост количества трехмерных объектов в основном получен методом дублирования. Прирост количества простых двумерных примитивов получен путем комбинирования. Другие оптимизации имеют меньше влияния на ускорение, но, безусловно, их значение будет возрастать по мере усложнения видов визуализации. Примеры визуализаций результатов моделирования гравитационного взаимодействия N -тел с большим количеством графических примитивов можно увидеть в [8].

Заключение

Таким образом, представлены реализация и четыре способа оптимизации графического движка для визуализации большого количества двумерных и трехмерных примитивов для мобильных тайловых процессоров. Особенности архитектуры требуют минимизировать количество данных, передаваемых на графический адаптер, и количество запросов на рисование. Показано, что предложенная нами система достигает этих целей, храня дерево изменений состояния каждого объекта сцены, для подготовки и минимизации списка объектов на рисование. При этом также уменьшается количество объектов передачи путем динамического объединения их геометрии. Кроме того, используется API для дублирования геометрии при повторной прорисовке, передается только разница между конечными сетками геометрии. Произведена оценка влияния предложенных оптимизаций на примере визуализации моделирования гравитационных взаимодействий N тел. Результаты измерений на наборе целевых устройств демонстрируют прирост производительности в 2,5 раза для трехмерных объектов и более 2-х порядков для двумерных объектов. Такой прирост делает систему рентабельной на переносных устройствах с ограниченным профилем энергопотребления.

Литература

1. Верзунов С.Н. Разработка программных средств для вейвлет-анализа одномерных временных рядов // Проблемы автоматизации и управления. – 2014. – № 2(27). – С. 62–71.
2. Shebanow, M. An evolution of mobile graphics. Презентация конференции High Performance Graphics. 2013.
3. Imagination Tech Limited. PowerVR Hardware Architecture Overview for Developers // PowerVR SDK Manuals. 2017.
4. Navik, Ankit P., и другие. Microbenchmark Based Performance Evaluation of GPU Rendering. // Emerging Research in Computing, Information, Communication and Applications. Springer, New Delhi, 2015.
5. McCaffrey, Jon. Exploring Mobile vs. Desktop OpenGL Performance. // OpenGL Insights. 2012.
6. Arnau, Jose-Maria, Joan-Manuel Parcerisa, и Polychronis Xekalakis. Parallel frame rendering: Trading responsiveness for energy on a mobile gpu. // Proceedings of the 22nd international conference on Parallel architectures and compilation techniques. IEEE Press. 2013.
7. Ma, Xiaohan, и другие. Characterizing the performance and power consumption of 3D mobile games. // Computer 46.4. 2013. (С. 76–82).
8. http://iait.kg/wp-content/uploads/2018/04/Ver_Toks.png (дата обращения: 2. 04.2018).

УДК 004.021.(738.2)

Д.О. Авельцов

Институт автоматизации и информационных технологий НАН КР

ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРЫ В РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Рассматривается микросервисная архитектура программного обеспечения и специфика ее применения в системах мониторинга параметров окружающей среды. Приводится системная архитектура автоматизированной системы мониторинга при микросервисном подходе.

Ключевые слова: микросервисная архитектура; мониторинг параметров окружающей среды; автоматизированные системы мониторинга.

Введение. Эффективный краткосрочный (дни, часы) прогноз и предупреждение о возникновении и развитии стихийных природных и техногенных катастроф на Земле обеспечивают снижение людских и материальных потерь как минимум на 20–30 % и в настоящее время приобретают все большую актуальность [1].

Разработанная в Институте автоматизации и информационных технологий НАН КР автоматизированная система мониторинга параметров окружающей среды (АСМ ПОС) [2] объединяет в себе функции системы распределенного мониторинга, обеспечивающей дистанционный сбор и предварительную обработку данных о параметрах окружающей среды горных территорий, информационной системы, обеспечивающей долгосрочное хранение данных мониторинга и автоматизированный доступ пользователей к этим данным, а также системы оповещения, обеспечивающей экстренное предупреждение о возникновении чрезвычайных ситуаций. Дальнейшее развитие АСМ ПОС может получить в том числе и за счет оптимизации программного обеспечения.

Постановка проблемы. Программное обеспечение АСМ ПОС включает три основные части: пользовательский интерфейс, базу данных (БД) и сервер. Серверная часть обрабатывает HTTP запросы, выполняет доменную логику, запрашивает и обновляет данные в БД, заполняет HTML страницы, которые затем отправляются браузеру клиента [3].

Классическим подходом к разработке подобных приложений является монолитная архитектура. Вся логика по обработке запросов выполняется в единственном процессе, при этом используются возможности языка программирования для разделения приложения на классы, функции и пространства имен. С течением времени становится труднее сохранять хорошую модульную структуру, изменения логики одного модуля имеют тенденцию влиять на коды других модулей.

Масштабировать приходится все приложение целиком, даже если это требуется только для одного модуля приложения.

Микросервисы призваны решить проблемы, связанные с применением монолитной архитектуры приложения. Микросервисы – это архитектура, при которой единое приложение строится как набор небольших сервисов, каждый из которых работает в собственном процессе и коммуницирует с остальными, используя легковесные механизмы, как правило, HTTP. Эти сервисы построены вокруг бизнес-потребностей и развертываются независимо с использованием полностью автоматизированной среды. Существует абсолютный минимум централизованного управления этими сервисами. Сами по себе эти сервисы могут быть написаны на разных языках и использовать разные технологии хранения данных (рис. 1).

В дополнение к возможности независимого развертывания и масштабирования каждый сервис также получает четкую физическую границу, которая позволяет разным сервисам использовать разные языки программирования. К тому же сервисы могут разрабатываться разными командами.

Микросервисная архитектура является частным случаем сервисно-ориентированной архитектуры (SOA, англ. service-oriented architecture) [4]. SOA определяет модульный подход к разработке программного обеспечения, основанный на использовании распределённых, слабо связанных (англ. loose coupling) заменяемых компонентов, оснащённых стандартизированными интерфейсами для взаимодействия по стандартизированным протоколам. Микросервисная архитектура представляет набор более строгих правил и соглашений, предъявляемых к SOA.

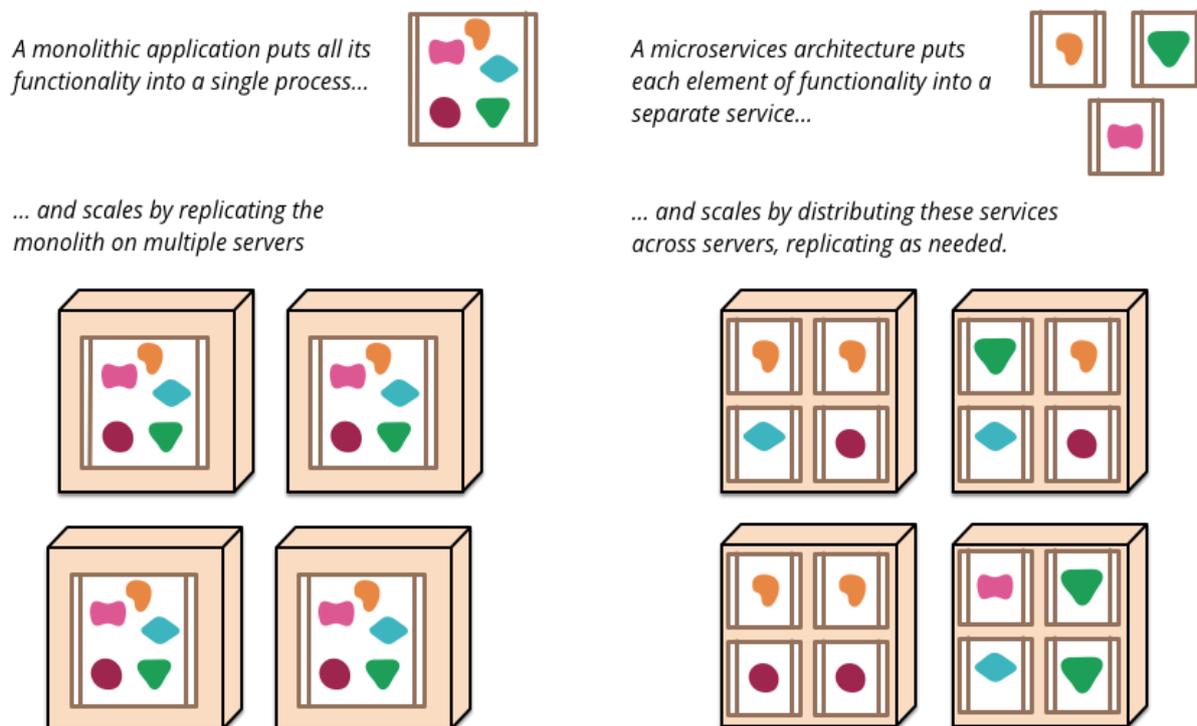


Рисунок 1. Различия монолитной и микросервисной архитектур

Микросервисы, с точки зрения аппаратных ресурсов, имеют преимущества,

которых лишены единые архитектуры:

- Независимая масштабируемость – при размещении модулей на отдельных серверных узлах их можно масштабировать независимо от других модулей.

- Независимый технический стек – благодаря распределению модулей по разным серверным узлам и независимому языку взаимодействия можно использовать совершенно разные языки программирования, инструменты взаимодействия, мониторинга и хранения данных. Это позволяет выбирать лучшие и наиболее удобные решения, а также экспериментировать с новыми технологиями.

- Облегчают решение ряда задач с программной точки зрения.

- Сохранение модульности – монолитная и микросервисная архитектуры позволяют сохранять модульность и инкапсуляцию. Однако при монолитной архитектуре это может быть довольно трудной задачей, на решение которой уйдут десятилетия, несмотря на правила SOLID. Зато микросервисы позволяют обеспечивать логическое разделение приложения на модули за счёт явного физического разделения по серверам. Физическая изолированность защищает от нарушения пределов ограниченных контекстов.

- Независимая эволюция подсистем – микросервис может развиваться и ломать обратную совместимость, не обременяя себя поддержкой старых версий, так как всегда можно оставить старую версию микросервиса в рабочем состоянии необходимое время.

Учитывая данные преимущества, применение микросервисной архитектуры в разработке ПО системы мониторинга параметров окружающей среды позволит повысить продуктивность работы специалистов различного профиля, а также увеличить надежность и отказоустойчивость системы.

Микросервисный подход к проектированию АСМ ПОС. На рис. 2 показана системная архитектура АСМ ПОС, составленная согласно микросервисному подходу к проектированию. Системная архитектура – принципиальная организация системы, воплощенная в её элементах, их взаимоотношениях друг с другом и со средой, а также принципы, направляющие её проектирование и эволюцию.

Системную архитектуру можно разделить на несколько основных частей:

- Архитектура приложений. Определяет, какие приложения используются и должны использоваться для управления данными.

- Архитектура данных. Определяет структуру и набор данных для работы системы.

- Техническая (технологическая) архитектура (сетевая архитектура, архитектура платформ), инфраструктура. Определяет, какие обеспечивающие технологии (аппаратура, системное ПО, сети) необходимы для создания среды работы системы.

Как видно из схемы, приведенной на рис. 2, программное обеспечение системы мониторинга параметров окружающей среды делится на несколько приложений: Data Collection System, Android Application, Website, Database access API, Data analysis network, PostgreSQL.

Data Collection System имеет микросервисную архитектуру и включает следующие сервисы:

Server. Сервер представляет собой промежуточное звено между сетевыми шлюзами

и интерфейсом доступа к базе данных. Реализованы пакеты: main, server, api, json_rpc_protocol, server_gateway_protocol.

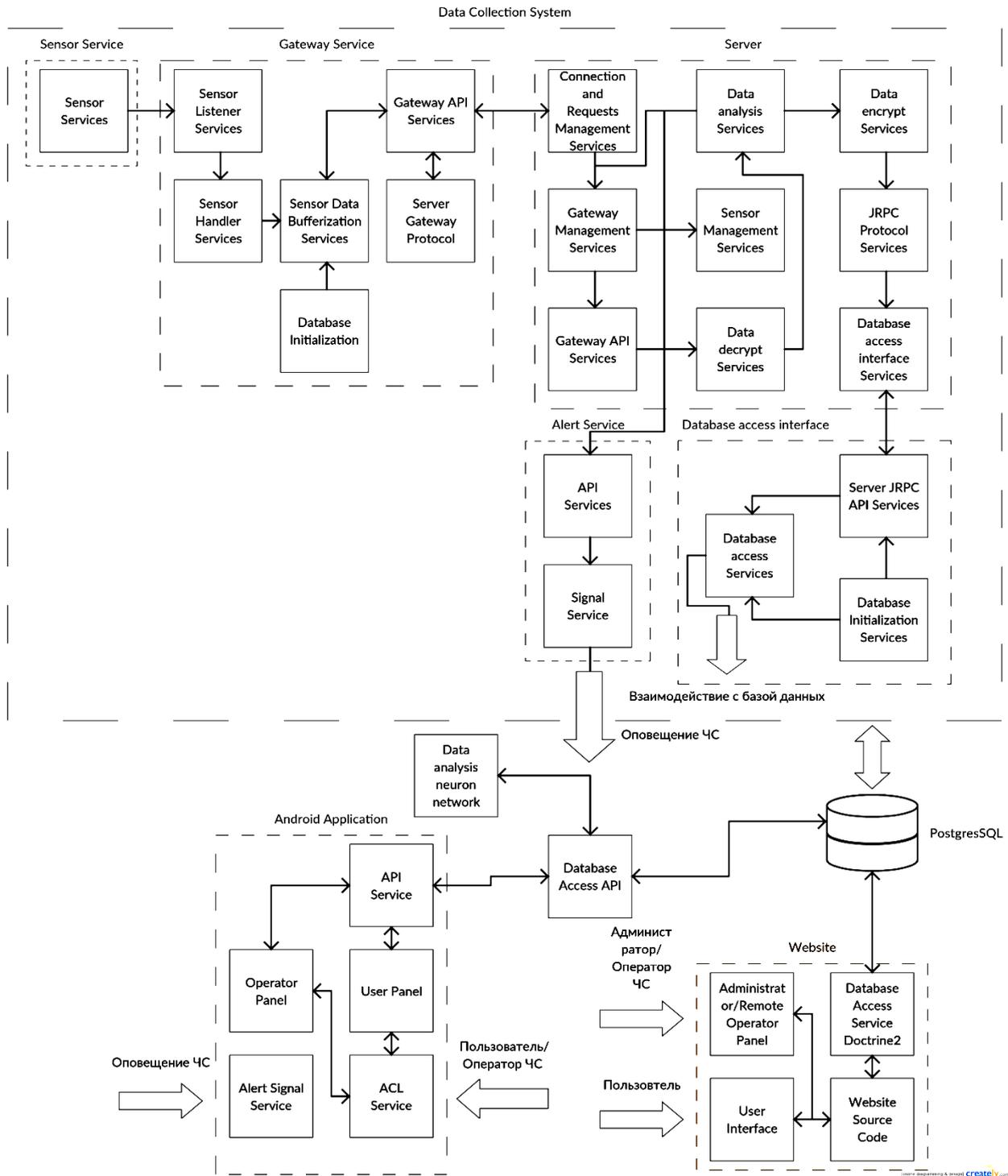


Рисунок 2. Микросервисная архитектура АСМ ПОС

Компоненты Server:

- **Connection and requests management services.** Принимает и обрабатывает входящие соединения и запросы от сетевых шлюзов. Управляет соединениями.
- **Gateway management services.** Компонент управления сетевыми шлюзами в системе. Регистрирует, удаляет и хранит данные о шлюзах, имеющих открытое соединение с сервером.
- **Sensor management services.** Компонент управления данными о сенсорных датчиках в системе, относящихся к шлюзам, имеющим открытое соединение с сервером.
- **Gateway API services.** Компонент управления запросами сетевых шлюзов.
- **Data decrypt Services.** Компонент расшифровки и создания структур данных на основе запросов сетевого шлюза.
- **Data analysis services.** Компонент анализа данных. Производит простое сравнение параметров ПОС с критическими уровнями данных и, в случае превышения допустимых значений, отправляет запрос оповещение на имеющиеся периферийные устройства.
- **Data encrypt services.** Компонент шифрования данных. Данный компонент кодирует структуры данных в байты и шифрует их.
- **JRPC protocol services.** Набор методов для работы с протоколом JSON-RPC.
- **Database access interface services.** Компонент принятия и отправки сообщений сервису работы с базами данных.

Gateway Service. Сетевой шлюз реализует получение, буферизацию и выдачу данных ПОС от сенсорных датчиков по запросу сервера. Реализует базу данных Sqlite3 для буферизации данных. Реализованы пакеты `main`, `server_gateway_protocol`, `gateway`, `sensor_handler`.

Компоненты Gateway Service:

- **Sensor Listener Services.** Ожидает входящие соединения от сенсорных датчиков.
- **Sensor Handler Services.** Обрабатывает входящие соединения от сенсорных датчиков. Идентифицирует сенсорный датчик. В случае подключения нового сенсорного датчика сохраняет его в локальной таблице. Передает полученные данные компоненту `Sensor Data Bufferization Services`.
- **Sensor Data Bufferization Services.** Сохраняет и отдает данные, полученные от компонента `Sensor Handler Services`.
- **Database Initialization.** Sqlite3 является встраиваемой реляционной базой данных, после первого запуска требуется инициализация. Также для экономии аппаратных ресурсов данный компонент управляет открытием и закрытием соединений с базой данных.
- **Server Gateway Protocol.** Набор структур данных и методов для реализации передачи данных по протоколу `Server Gateway Protocol`.
- **Gateway API Services.** Компонент реализует передачу данных сервису `Server` и обработку входящих запросов от сервиса `Server`.

Sensor Service. Сервис сенсор был создан для демонстрации работы АСМ ПОС в виртуальном режиме без необходимости включать сенсорные датчики в систему.

Реализованы пакеты main, data_parameters.

Компоненты Sensor Service:

- Sensor Services. Компонент реализует генерацию случайных данных и отправку сгенерированных данных сетевому шлюзу.
- Database Access Interface. Интерфейс доступа к базе данных реализует подключение к серверу баз данных, работу с данными и прием сообщений от сервиса Server. Реализованы пакеты main, model, json_rpc_protocol.

Компоненты Database Access Interface:

- Server JRPC API Services. Компонент реализует логику обмена данными Server - Database Access Interface - Server.
- Database Initialization Services. Компонент реализует подключение и авторизацию с сервером баз данных.
- Database access Services. Компонент реализует логику работы с данными. Сохранение, удаление, обновление и удаление данных.

К технической архитектуре системы мониторинга параметров окружающей среды относятся такие элементы, как PostgreSQL – сервер баз данных, который обеспечивает доступ и хранение данных, Database access API – обеспечивает доступ к данным периферийным приложениям (Android Application, Data Analysis Network) и является также микросервисом. Если PostgreSQL является программным обеспечением, которое можно полностью отнести к слою технической архитектуры, то компоненты Database access API и Website используют только части данного слоя, это http сервера nginx. Сами же компоненты являются модулями всей системы и построены с использованием микросервисного подхода в архитектуре.

Архитектура данных в приложении представляет собой набор таблиц и связей в одном либо нескольких серверах баз данных.

Структура базы данных должна быть разработана таким образом, чтобы избежать дублирования данных, обеспечить максимальную скорость доступа к ним, а также максимально облегчить программирование операций обращения к базе данных.

База данных накапливает информацию о базовых станциях, периферийных устройствах, сенсорных датчиках и их генерируемые значения (рис. 3). В процессе проектирования были определены наименования таблиц и типы данных для всех полей. Таким способом было создано 8 таблиц.

Так же, как и при проектировании слоев архитектуры приложения и технической архитектуры, при проектировании структуры базы данных следует соблюдать осторожность. Существует риск создать слишком много связей, что плохо скажется на скорости выборки информации из базы данных, либо риск нарушить атомарность данных, что приведет к невозможности использования некоторых данных в чистом виде.

Как видно из рис. 3, в данной модели отображены микросервисы, которые имеют ряд данных для постоянного хранения. Путем использования нормальных форм при проектировании схемы данных для соблюдения атомарности можно вынести некоторые данные в отдельные таблицы, связав их с основными таблицами при помощи внешних ключей.

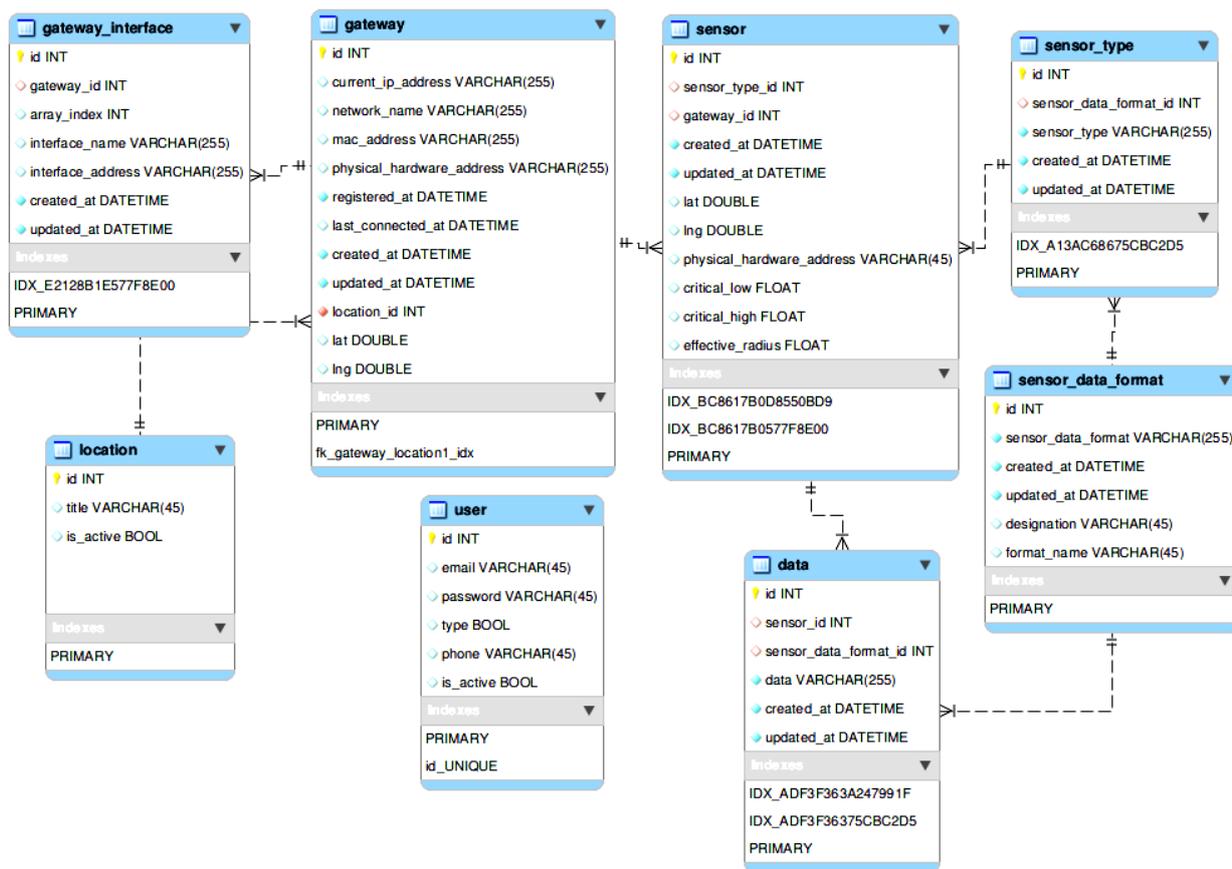


Рисунок 3. Структура базы данных

Заключение. Изложенные выше преимущества микросервисной архитектуры, такие как модульность, масштабируемость, гибкость стека технологий разработки ПО, простота модернизации системы позволят повысить продуктивность работы специалистов различного профиля, а также увеличить надежность и отказоустойчивость системы мониторинга параметров окружающей среды.

Литература

1. МАКСМ – глобальная система прогнозирования природных и техногенных катастроф. <http://www.roscosmos.ru/>.
2. Отчет о научно-исследовательской работе по проекту «Разработка информационно-телекоммуникационных технологий оповещения, мониторинга и прогнозирования паводковых и селевых проявлений в бассейнах горных рек». Книга 1. ИАИТ НАН КР. – Бишкек, 2017.
3. Замай В.И., Маматов А.Н., Добровольский Н.С. Разработка программного обеспечения сервера системы сбора и передачи данных мониторинга параметров природной среды. // Проблемы автоматизации и управления. Бишкек: Илим. – 2016.–№ 1. (30). – С. 27–31.
4. Sam Newman Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems 1st Edition // ISBN-10: 1491950358. С. 64–68.

УДК 004.942

Б.Т. Укуев, д.т.н., Б.Б. Назаров

*Кыргызский государственный университет строительства, транспорта
и архитектуры им. Н. Исанова,
Международный университет инновационных технологий, г.Бишкек
sos_research_man@mail.ru*

ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ АКТИВНО-АДАПТИВНЫМИ СЕТЯМИ

В статье рассматривается вопрос внедрения интеллектуальной активно-адаптивной сети, позволяющую на технологическом и управленческом уровне эффективно решать ключевые задачи, связанные с эффективностью управления сетями и системами, интеграцией интеллектуальной системы в энергетическую инфраструктуру.

Ключевые слова: интеллектуальная сеть; активно-адаптивная сеть; инновация; энергетика; интеллектуальная энергетика; интеллектуальная активно-адаптивная сеть; умный город.

Проблемой энергетики Кыргызстана является сезонный спрос на электроэнергию. Если потребление в теплое время года составляет сегодня 22–23 млн кВтч в сутки, то в отопительный период этот показатель достигает 70 млн кВтч и более. В результате возникает ситуация, когда генерирующие и передающие мощности, необходимые для обеспечения надежного энергоснабжения зимой, в летнее время будут загружены лишь на треть своей мощности. Это серьезным образом ухудшает привлекательность инвестиций в энергосектор Кыргызстана. Ни один инвестор не будет вкладывать средства в строительство электростанций, которые будут загружены лишь несколько месяцев в году. Распределение электроэнергии в стране происходит неэффективно и это не контролируется. Возникает необходимость введения контроля, регулирования и эффективного распределения [1].

Для Кыргызстана ГЭС являются базовыми генерирующими источниками страны. На 5 крупнейших ГЭС приходится 3/4 установленной мощности электростанций страны. Электрическая сеть энергосистемы Кыргызской Республики включает в себя линии электропередачи напряжением 0,4–500 кВ общей протяженностью 86820 км. Распределительные электрические сети выполнены на напряжение 0,4–35 кВ. При этом 95 % энергоносителей, включая до 50 % угля и практически полностью газообразное топливо и нефтепродукты, импортируется.



Рисунок 1. Потребление электрической энергии

Таблица 1. Рост потребления электроэнергии

Категории потребителей	Ед. изм.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.
Население	тыс. кВтч	6 177,3	6 250,0	6 357,5	6 469,1
Промышленность	тыс. кВтч	1 077,1	1 092,6	1 116,6	1 136,4
Сельхозпотребители	тыс. кВтч	84,2	90,3	92,3	93,9
Бюджетные организации	тыс. кВтч	924,9	943,0	955,7	972,7
Прочие потребители	тыс. кВтч	1 074,1	1 073,2	1 095,4	1 114,3
Итого	тыс. кВтч	9 338,0	9 449,3	9 617,7	9 786,6

Примечание: Рост потребления всеми категориями потребителей электрической энергии в 2017 году составило 12347,4 млн кВтч, т.е. увеличилось на 15 % [2].

С 2012 года в Кыргызстане, особенно в Бишкеке, началось масштабное строительство. Рост строительного сектора породил резкий дефицит между спросом и предложением энергоресурсов в городе Бишкек. Отсюда нехватка энергоресурсов, неготовность существующих сетей к поставке необходимых бизнесу и населению ресурсов [3].

В результате этого, представители строительных компаний оказались в тяжелой ситуации. В период 2013–2014 годов стало проблемой получить технические условия на электроснабжение проектируемых объектов, а в 2015 году это и вовсе стало невозможным. В районах планируемой застройки, где была более благоприятная ситуация с электричеством, технические условия получить удавалось, но с оговоркой.

Причины модернизации электроэнергетики в Кыргызстане:

1. Нарушение надежности и качества электроснабжения потребителей.
2. Снижение функционирования энергетической системы.
3. Недостаточность применения новых технологий в электроэнергетических сетях.
4. Отсутствие четкой идеологии и системного характера применения новых технологических решений.
5. Отставание во внедрении современных средств и систем управления, обеспечении их необходимой информацией для оперативного управления в реальном времени.
6. Возросшие требования нового промышленного оборудования в сфере производства к качеству поставляемой электроэнергии.

В Кыргызстане необходимо разработать и внедрить концепцию, предусматривающую на технологическом и управленческом уровне эффективное решение ключевых задач, связанных с управлением сетями и системами, интеграцией интеллектуальной системы и энергетической инфраструктуры, ресурсосбережением, доставкой и реализацией ресурсов конечному потребителю. Предлагается создать интерактивную карту, на которой Кыргызстан будет поделен на зоны, при наведении курсора на данные зоны должна появляться информация, какие мощности в ней есть. При этом интеллектуальная система должна позволять не только увидеть ситуацию со свободными мощностями, но и спрогнозировать план развития сетевого комплекса на ближайшие несколько лет.

Основные функции интеллектуальной электроэнергетической системы:

- генерация, передача, распределение и потребление электроэнергии; автоматический контроль в реальном масштабе времени с протоколированием;
- автоматический сбор информации; автоматическое управление объектами электроэнергетики;
- автоматический учёт и выдача информации для отчётности;
- прогнозирование состояния электросетей и основного силового оборудования; оперативное решение вопросов конфигурации электросетей; оперативное автоматическое реагирование на аварийные ситуации; оперативное автоматическое восстановление послеаварийных ситуаций [4].

Интеллектуальная электроэнергетическая система поможет обеспечить надёжность, бесперебойность и экономичность энергоснабжения; резерв по ресурсам электроэнергии и мощности; высокое качество поставляемой электроэнергии; доступность использования электроэнергии в Кыргызской Республике.

Взаимосвязь между всеми поставщиками и потребителями электроэнергии – это надёжный контроль над электроэнергией страны. Поставщики – это все виды электростанций, т.е. атомные, теплоэлектростанции, ветроэлектростанции, солнечные электростанции, гидроэлектростанции и т.д., а потребители – это соответственно

заводы, здания, дома, техника, автомобили и т.д. А управляет всем этим центр управления, куда приходят все сигналы и уходят к потребителям (рис. 2).



Рисунок 2. Взаимодействие интеллектуальной электроэнергетической системы

Во многих странах начали инвестировать в активную адаптивную сеть, которая намного упрощает работу сети энергосектора.

Страны, которые уже внедрили активно-адаптивные интеллектуальные энергосети, отмечают что лучшую защиту от кризисов. Учитывая, что переход к экологически чистой энергии продолжается, то ситуация только улучшается, приобретая масштабность. Внедрение активно-адаптивной сети в энергетику повысит надежность, эффективность и безопасность системы преобразования, передачи и распределения электроэнергии.

Современные электроэнергетические системы (ЭЭС) содержат большое количество элементов, имеют многообразные внутренние и внешние связи и требуют большого объема информации для описания режимов их работы. Все это определяет целесообразность использования при управлении ЭЭС методов математического моделирования, реализуемых с использованием инновационных технологий.

Существует множество разновидностей моделей:

- По характеристике объекта моделирования:
 - Модель внешнего вида
 - Модель структуры
 - Модель поведения
- По сферам деятельности субъекта моделирования:
 - Познавательные
 - Коммуникативные
 - Модели, возникающие в сфере практической деятельности
- По сущности:
 - Вещественно-энергетические (натурные)

- Идеальные (воображаемые)
- Информационные
- По роли управления объектом моделирования:
 - Регистрирующие
 - Прогностические
 - Имитационные
 - Оптимизационные

Моделирование в ЭЭС позволяет заменить сложные, а иногда и невозможные эксперименты на реальных объектах экспериментированием на их моделях. При этом появляется возможность моделировать и исследовать поведение ЭЭС в аварийных ситуациях, её реакцию на технологические воздействия (рис. 3).

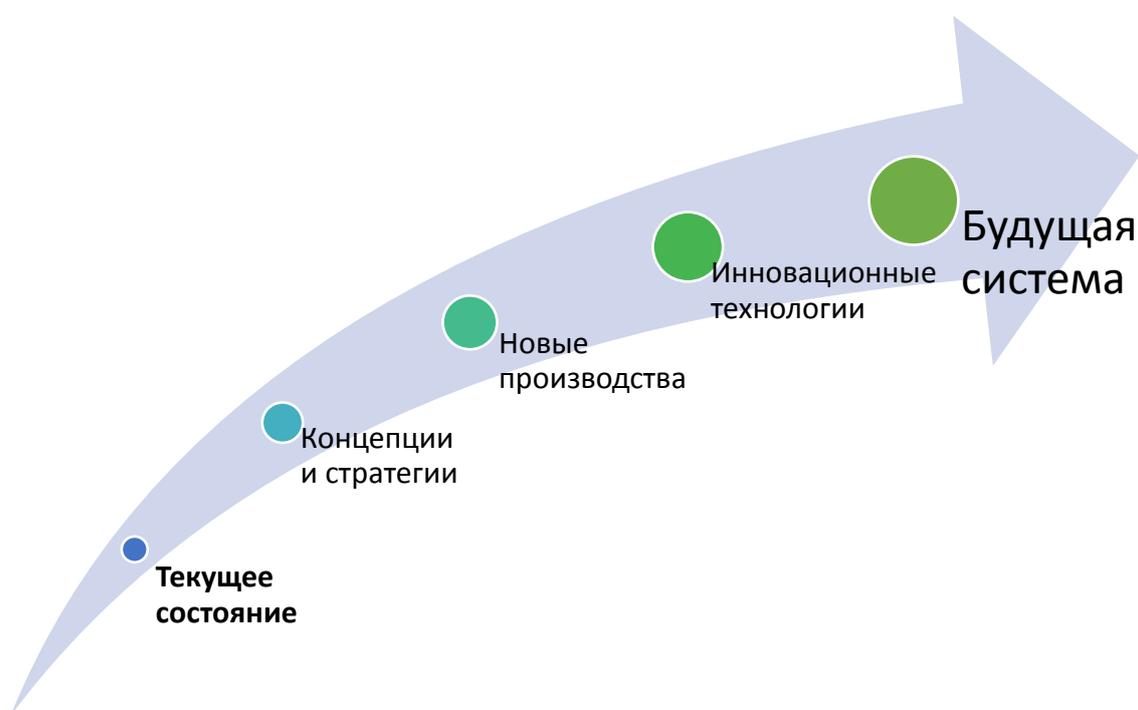


Рисунок 3. Модель развития интеллектуальной электроэнергетической системы

Математическая модель ЭЭС реализуется в основном в виде формальной модели – алгоритма, представленной как программа для информационных систем.

Важное место в комплексе задач моделирования и исследования условий работы ЭЭС занимает задача моделирования установившихся режимов работы ЭЭС.

Под режимом работы ЭЭС понимают совокупность процессов, происходящих в системе и определяющих в любой момент времени состояние параметров режима.

К параметрам режима ЭЭС относятся напряжения в узлах сети, токи и потоки мощности в участках, токи и мощности в узлах, потери активной мощности.

Энергетическая система характеризуется параметрами системы, т.е. показателями, зависящими от свойств оборудования системы, её конфигурации и т.д.

К параметрам системы можем отнести конфигурацию электрической сети, сопротивления и проводимости её элементов, коэффициенты трансформации трансформаторов и т.д.

Развитие интеллектуальной электроэнергетической системы в Кыргызской Республике обеспечит:

- оперативное двустороннее взаимодействие по каналам связи интеллектуальных средств поставщиков электроэнергии с техническими средствами потребителей электроэнергии;
- интеллектуальность систем управления всех уровней, обеспечивающую прогнозирование и высокую адаптивность распределительных электрических сетей для достижения эффективности, надёжности и бесперебойности энергоснабжения;
- автоматический контроль и мониторинг основных технических средств;
- дистанционное управление основным оборудованием;
- создание всережимной системы управления с полномасштабным информационным обеспечением;
- развитие всех видов генерации – традиционных и нетрадиционных;
- создание распределённой генерации;
- участие всех видов потребителей, присоединённых к сети, в регулировании качества и надёжности энергосистемы;
- возможность для распределительных сетей осуществлять изменение параметров и топологии сети по текущим режимным условиям;
- регулирование напряжения в узлах сети с целью минимизации потерь при соблюдении условий высокого качества электроэнергии;
- точные измерения параметров и автоматизированный комплексный учёт электроэнергии на границах раздела и на подстанциях сети.

Заключение. Внедрение адаптивной сети в Кыргызстане поможет развить все системы генерации электроэнергии как малых, так и нетрадиционных источников. Произойдет модернизация технологической инфраструктуры электроэнергетики, автоматизируется и интеллектуализируется основное и дополнительное оборудование.

Литература:

1. <http://www.gov.kg/?p=41665&lang=ru>
2. <http://regulator.tek.gov.kg/ru/content/prognoz-razvitiya-energosisistemy-na-period-s-2014-po-2017-gody>
3. <http://knews.kg/2016/07/tri-modeli-razvitiya-energosektora-kr/>
4. Типовые проекты Smart Grid от Schneider Electric/
https://www.smartgrid.gov/the_smart_grid/smart_grid.html

УСТРОЙСТВА, СРЕДСТВА И СИСТЕМЫ АВТОМАТИКИ

УДК 654.026

А.М. Мамбеталиев

*Центр управления кризисными ситуациями МЧС КР,
г. Бишкек, Кыргызстан.*

А.А. Сомов

*Институт автоматизации и информационных технологий НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан E-mail:somova@yahoo.com>*

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ ВИДЕОМОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ ОБСТАНОВКИ НА БАЗЕ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ МИНИСТЕРСТВОМ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Проведен анализ применения беспилотного летательного аппарата (БЛА) с установленными средствами видеомониторинга для решения задач видеодокументирования Министерством чрезвычайных ситуаций (МЧС) мест природных и техногенных катастроф в Кыргызской Республике в первой половине 2017 года. Приведены недостатки организации информационных потоков при обследовании мест катастрофы. Предлагается схема оптимизации информационных потоков и организации информационной системы с применением БЛА.

Ключевые слова: видеомониторинг, видеодокументирование, потоки видеoinформации, видеостриминг, сервер обработки видео, видео по запросу, онлайн видео.

Введение. Опыт применения беспилотных летательных аппаратов (БЛА) Министерством чрезвычайных ситуаций Кыргызской Республики.

В 2017 году в Кыргызской Республике сложилась тревожная обстановка: большое количество природных катаклизмов (наводнения, оползни, сели и землетрясения) в южном регионе и крупная катастрофа техногенного характера – крушением грузового самолета Boeing 737 в аэропорту «Манас» [1].

В ходе оценки необходимых сил и средств, необходимых для ликвидации последствий стихийных бедствий, а также для видеодокументирования последствий крушения авиалайнера, был применен БЛА квадрокоптерного типа DJI Phantom III.

Указанный БЛА имеет на борту видеокамеру для решения задач пилотирования и навигации, кроме того, информация с камеры может быть записана на накопитель мобильного устройства в составе системы управления БЛА.

Приведем характеристики указанного БЛА [2], критичные для задач видеомониторинга и видео документирования чрезвычайных ситуаций и техногенных катастроф (ЧСиТК):

- Максимальная высота взлета над уровнем моря: 6000 метров (относительно точки взлета максимальная высота составляет 500 метров);

- Рабочая температура: 0°C – 40°C;

Камера:

- Количество эффективных пикселей: 12,4 мпкс (общее количество: 12,76 мпкс)
- Объектив: Поле зрения 94°, фокусное расстояние 20 мм (в 35 мм эквиваленте) f/2.8, фокус на бесконечность.
- Диапазон ISO: 100–3200 (видео), 100–1600 (фото).
- Скорость затвора: диапазон выдержек 8s –1/8000 s.
- Максимальный размер изображения: 4000 x 3000 пикс.
- Видео: MP4, MOV (MPEG-4 AVC/H.264).

В ходе ликвидации последствий крушения авиалайнера в период с 16 января по 23 января 2017 года БЛА был применен лишь на 3 день с момента авиакатастрофы. Из-за сильного тумана и низкой температуры в первые два дня был невозможен запуск БЛА, горение обломков и сильный поток воздуха и продуктов горения отрицательно сказывается на целостности винтовой группы БЛА. Камера, ввиду низкой температуры окружающего воздуха, проявляет кубические искажения изображения. На объективе наблюдались выпадения изморози. Нахождение места катастрофы непосредственно в зоне взлетно-посадочной полосы привело к невозможности применения средств автопилотирования и составления полетных планов из-за ограничений в программном обеспечении планирования полета. Управление проводилось в ручном режиме: корректировка высоты и направления полета БПЛА при съемке проводилась визуально. При этом ввиду отсутствия автоматических средств предупреждения о воздушном столкновении, приходилось согласовывать полеты с диспетчерской службой аэропорта. В составе БЛА имеется одна камера. Она была использована как для трансляции и записи видеоизображения, так и для целей навигации и управления полетом.

Фрагменты видео однозначно позволяют определить:

- место касания самолета грунта и строений за территорией аэропорта;
- зону расположения основной массы обломков самолета и траекторию его падения;
- степень разрушения жилого фонда и разброса обломков летательного аппарата.

Для решения вопросов оценки масштабов берегоукрепительных работ при интенсивном таянии снега и интенсивных осадках в виде дождя в южном регионе Кыргызской Республики БЛА проводил съемку берегоукрепительных работ реки Кара-Ункур Ноокенского района. При этом во время осадков наблюдались сбои в управлении БЛА и передаче видеoinформации. Это объясняется тем, что управление БЛА и передача видеоданных происходили на частотах 2,4–2,5 ГГц, находящихся в зоне интенсивного поглощения водными парами и дождевыми каплями.

Также БЛА был применен при поисково-спасательных работах при сходе оползня в селе Аюу Узгенского района. Применение подобного метода контроля позволяет более точно определить зоны сдвига пластов породы и текущее местонахождение объектов, снесенных при сходе оползня.

Проблемы получения передачи и обработки информации с БЛА. Постановка задачи.

Наличие системы видеомониторинга с БЛА существенно облегчает задачи по планированию и контролю поисково-спасательных операций и ликвидации последствий техногенных катастроф и стихийных бедствий [3–4]. Вместе с тем, в ходе практического применения подобной системы выявлен ряд недостатков, существенно снижающих эффективность применения БЛА для видеодокументирования и видеомониторинга.

Основными недостатками являются:

- отсутствие на видеоизображении временных отметок и отметок географических координат съемки;
- сильная зависимость указанного типа БЛА от погодных условий;
- отсутствие второй камеры что приводит к необходимости использования камеры и для видеомониторинга и для задач пилотирования БЛА;
- отсутствие возможности получения иной, отличной от видео или изображения, дополнительной информации о месте чрезвычайной ситуации;
- проблемы организации потоков видеоинформации.

Существующая схема организации потоков видеоинформации с БЛА имеет существенные недостатки: невозможность применения информации в реальном времени, длительное время получения информации и необходимость выполнения многократного мониторинга.

Основным недостатком существующей схемы передачи видеоинформации (рис 1) является необходимость промежуточной записи информации на носителе в мобильном устройстве и последующем ручном переносе в информационную сеть МЧС. При этом обработка информации осуществляется в ручном режиме. Объем информации зависит от объема промежуточного носителя. Оперативность информации зависит от времени съемки, удаленности места съемки от местонахождения оператора и времени действий по переподключению промежуточного носителя с мобильного устройства на персональный компьютер.

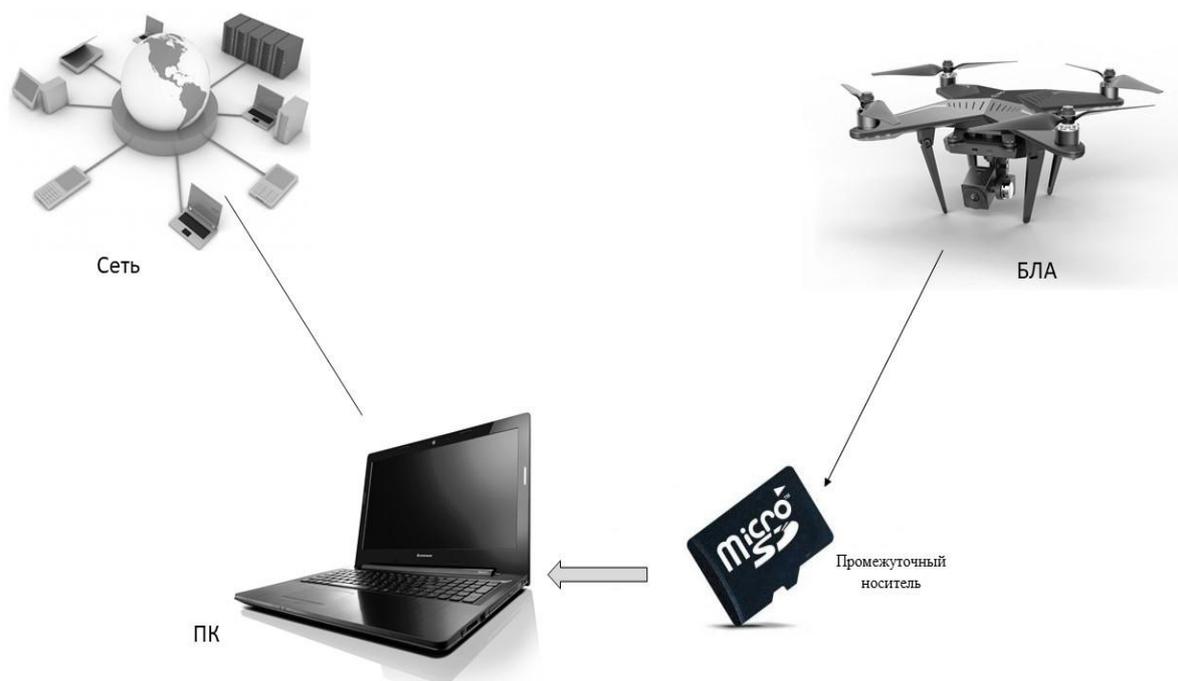


Рисунок 1. Существующая схема передачи видеоинформации с БЛА

В новых разработках стандартных БЛА имеется схема трансляции видео через фирменные или общеупотребительные онлайн сервисы на интернет ресурсах Facebook, Youtube, Periscope. Недостатком данной схемы передачи видео информации, представленной на рис 2, является необходимость высокоскоростного интернет соединения в месте съемки видео.

Кроме того, информация проходит через общественные ресурсы и имеет потенциальную угрозу подмены и перехвата, что отрицательно сказывается на возможностях видеодокументирования.

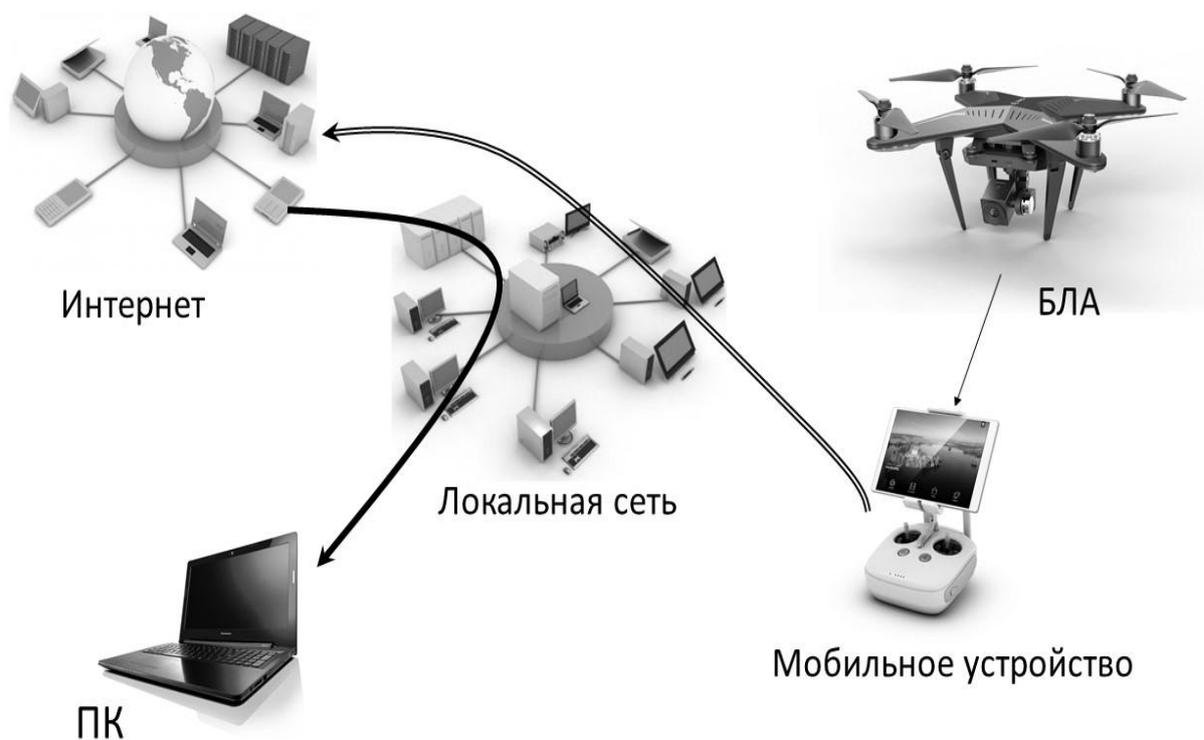


Рисунок 2. Схема передачи видеоинформации с БЛА через Интернет-сервисы

Проблемными местами описанных схем сбора видеоинформации являются:

- Момент получения видеоинформации. Имеется необходимость визуально наблюдать обстановку вокруг аппарата для навигации и управления аппаратом и в то же время проводить видеодокументирование места ЧС/ТК.
- Момент передачи необработанной видео информации. Документы по расчету привлекаемых сил и средств для устранения последствий ЧС/ТК производятся в Центрах управления кризисными ситуациями Министерства чрезвычайных ситуаций (ЦУКС МЧС). Поэтому необходима быстрая передача информации с места ЧС/ТК в ЦУКС МЧС.
- Момент обработки и хранения информации и полнота информации. Полученная видеоинформация поступает с разных источников в различных форматах h.264, RTSP, RTMP потоки и файлы разных форматов и разной степени сжатия. Это сказывается на скорости принятия решения, из-за задержек при перекодировании, и на качестве документирования, ввиду ограничений на включаемые в базы данных видеофрагменты и способ их хранения и поиска. Кроме того, наблюдается нехватка информации о температуре, химическом составе продуктов горения, влажности почвы и других показателях необходимым для принятия правильных решений.

Для устранения вышеуказанных недостатков предлагается провести реорганизацию схемы сбора, обработки и передачи информации, изменение типа БЛА и дооснащение его дополнительными устройствами.

Предлагаемое решение. Новая схема сбора, обработки и передачи информации, приведена на рис. 3.

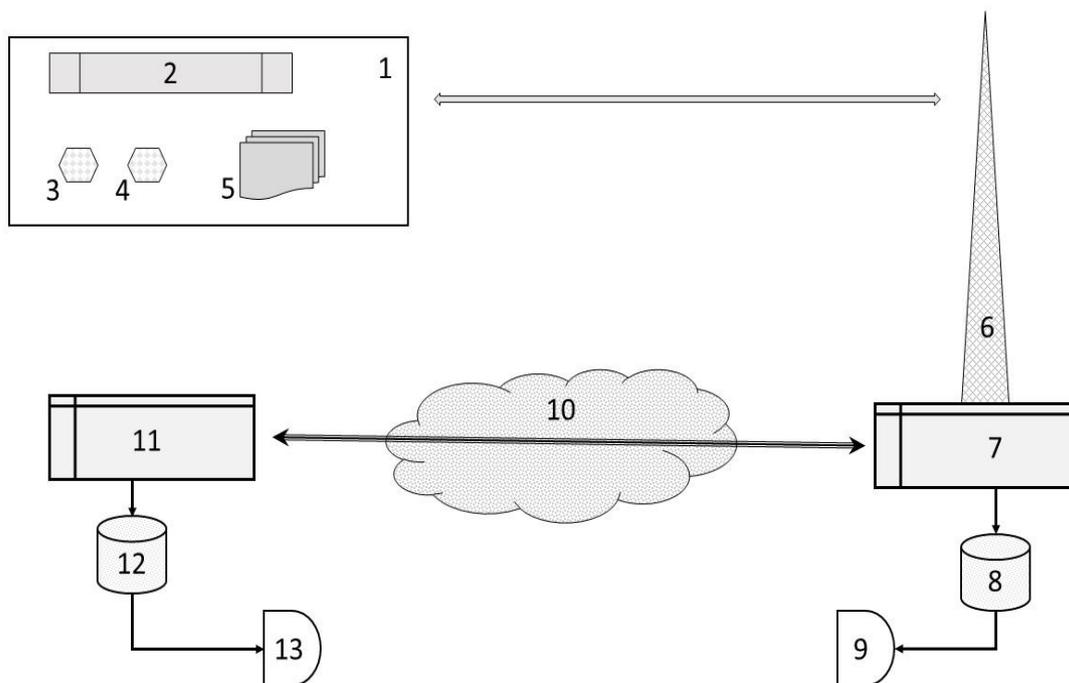


Рисунок 3. Предлагаемая схема организации сбора и обработки информации: 1 – БЛА; 2 – летающая платформа; 3 – навигационная камера; 4 – камера видеодокументирования; 5 – сенсоры; 6 – приемопередающая аппаратура; 7 – оперативное унифицированное коммуникационное (УК) устройство; 8 – оперативное хранилище; 9 – оперативный монитор; 10 – среда передачи информации, 11 – основное УК устройство; 12 – основное хранилище; 13 – основной монитор.

Основными моментами предлагаемой схемы являются:

Наличие унифицированного коммуникационного устройства, приводящего форматы видеоданных для документирования в оптимальные качество и объем. Это ускорит передачу информации и приведет к оптимизации передачи и хранения информации в удобном виде.

Наличие отдельной камеры для навигации и для видеодокументирования, что существенно облегчит задачи управления БПЛА.

Наличие на БПЛА дополнительных сенсорных устройств, для получения помимо видеоинформации и другой, необходимой для анализа ситуации, информации с сенсоров газа, температуры, пространственных сканеров и многих других сенсоров.

Унифицированные коммуникационные устройства позволят подготовить данные для серверной части автоматизированной системы мониторинга параметров окружающей среды, подобной указанной в [6]. Эти же устройства позволяют произвести передачу информации через среду передачи информации в защищенном режиме посредством организации защищенных VPN каналов между мобильными командными пунктами или мобильными пунктами мониторинга и центрами обработки данных МЧС КР.

Передача дополнительной информации (показания сенсоров, метки геопривязки, отметки пространственных сканеров и время сбора информации) может осуществляться единым информационным потоком совместно с видеоизображением камеры видеодокументирования. Данные могут быть наложены как в виде отметок в

цифровом виде на передаваемое изображение, так и в комбинированной записи звуковых дорожек (субтитров) либо при помощи алгоритмов чередования кадров [7].

Выводы

Рассмотрен существующий опыт применения ЦУКС Министерства чрезвычайных ситуаций БПЛА для задач определения обстановки и контроля проведения аварийно-спасательных и восстановительных работ при ЧС и ТК. Определены основные проблемные области при получении, передаче и обработке информации. Предложена схема получения, передачи и обработки информации, позволяющая устранить перечисленные проблемы.

Литература

1. Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики // МЧС КР Бишкек. – 2017. УДК 502/504. Режим доступа http://mes.kg/upload/Книга_2017.pdf
2. Phantom 3 Standart Spec // электронный документ режим доступа <https://www.dji.com/phantom-3-standard/info>
3. Шахраманьян М.А., Крылов С.В., Резников В.М. Малогабаритный комплекс разведки и контроля чрезвычайных ситуаций // Технологии гражданской безопасности. – 2004. №4. Федеральное государственное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (Федеральный центр науки и высоких технологий).
4. Тодосейчук С.П., Переяслов А.Н., Моржин А.М., Малов Ю.И., Колдаев А.В. Концепция применения воздушных робототехнических комплексов для мониторинга и ликвидации чрезвычайных ситуаций на примере системы «Иркут-МЧС» // Технологии гражданской безопасности. – 2006. №1. Том 3. Федеральное государственное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (Федеральный центр науки и высоких технологий).
5. Янников И.М., Фомин П.М., Габричидзе Т.Б., Захаров А.В. Применение беспилотных летательных аппаратов при разведке труднодоступных и масштабных зон чрезвычайных ситуаций // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2012. №3 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тольяттинский государственный университет»
6. Добровольский Н.С., Замай В.И., Баймуркатов Б.Б. Разработка серверного программного обеспечения автоматизированной системы мониторинга параметров окружающей среды горных территорий // Проблемы автоматизации и управления. – 2014. – № 1(26). – С. 39–46.
7. Куликов Д.Л. Алгоритм стеганографии в видео с повышенной устойчивостью к искажениям // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». 2010.

Аннотации

КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫНЫН ӨЗГӨЧӨ КЫРДААЛДАР МИНИСТРИЛИГИ ПИЛОТСУЗ АППАРАТТАРДЫН БАЗАСЫНДА ЧӨЙРӨДӨГҮ ЖАГДАЙДЫ ВИДЕОМОНИТОРИНГ ЖҮРГҮЗҮҮ КАРАЖАТТАРЫН КОЛДОНУУ БОЮНЧА ТАЛДОО

2017-жылдын биринчи жарымында Кыргыз Республикасында жаратылыш жана техногендик кыйроо жерлерин видеодокументтештирүү милдеттерин чечүү үчүн Өзгөчө кырдаалдар министрлиги (ӨКМ) видеомониторинг каражаттарын орнотуу менен пилотсуз учуу аппаратын (ПУА) колдонуу тажрыйбасы каралууда. Кыйроо жерлерин изилдөөдө аныкталган жетишсиздиктердин тизмеси берилип жана аларды чечүү жолдору сунушталууда.

Негизги сөздөр: видеомониторинг, видеодокументтештирүү, видеомаалыматтын агымы, видеостриминг, видеону кайра иштеп чыгуу сервери, суроо-талап боюнча видео, онлайн видео.

ЗАГОЛОВОК ?

Abstract: The analysis of the use of an unmanned aerial vehicle (UAV) with installed video monitoring tools to solve the problems of video documentation of the places of natural and man-made disasters in the Kyrgyz Republic by the Ministry of Emergencies in the first half of 2017 is conducted. The shortcomings of the organization of information flows during the survey of disaster sites are given. A scheme for optimizing information flows and organizing an information system using a UAV is proposed.

Keywords: videomonitoring, videodocumentation, videostreams, videostreaming, video processing server, video on demand, online video.

УДК 620.179.14

*И.В. Бочкарев, И.В. Брякин, М.Г. Гунина.
Институт автоматизации и информационных технологий НАН КР
Кыргызский государственный технический университет им. И.Раззакова*

СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ

Разработан новый способ диагностики электрических кабелей, предназначенный для магнитной дефектоскопии их ферромагнитных элементов, ориентированной на определение их локальных дефектов и потерь металлического сечения.

Ключевые слова: одно- и многопроволочные стальные провода; сталеалюминиевые провода; самонесущий кабель; трансформаторный измерительный датчик; вибраторная антенна конденсаторного типа; трансформаторная и магнитомодуляционная ЭДС.

Введение

Известно, что важнейшими функциональными элементами любой современной системы электроснабжения являются соответствующие провода и кабели. От их качества зависит надежность работы не только самой системы электроснабжения в целом, но и отдельных электроустановок, монтаж которых также осуществляется посредством проводов и кабелей. Поэтому кабельное производство является одной из ведущих отраслей промышленности, спрос на продукцию которой имеет устойчивый тренд неуклонного роста [1, 2], а разработки в сфере создания новых эффективных методов и технических средств контроля параметров изделий этого производства всегда были и остаются востребованными.

Технологический процесс изготовления кабельной продукции является непрерывным. Выход за допуски геометрических параметров кабельного изделия влечет за собой изменение его электрических и механических характеристик. Поэтому необходимо осуществлять постоянный контроль качества кабеля в реальном времени, что обеспечит оперативное выявление отклонений его параметров от нормируемых и соответственное вмешательство в технологический процесс для исключения брака [3, 4]. Качество кабеля может меняться как в процессе изготовления на заводе, так и во время хранения, транспортировки и укладки. В связи с этим контроль необходимо осуществлять на движущемся кабеле не только при его изготовлении, но и при монтаже линии электропередачи при раскрутке кабеля с барабана. Это значительно затрудняет процесс контроля [5].

Кабельному производству в настоящее время требуется не просто улучшение характеристик существующих приборов контроля их качества, а разработка новых способов комплексного контроля, обеспечивающих комплексное решение проблем, возникающих при их производстве и эксплуатации. Именно решению этой задачи и посвящена данная работа. Следует отметить, что номенклатура кабельных изделий очень разнообразна. Поэтому каждой группе кабелей обычно требуются специфические способы и устройства диагностики. Рассмотрим контроль кабелей, содержащих ферромагнитные элементы.

В местных сетях напряжением до 10 кВ включительно, например, в сельских воздушных линиях, при передаче сравнительно небольших мощностей широко применяют стальные провода [6]. Такие провода обладают большой механической

прочностью и бывают как однопроволочными, так и многопроволочными. Однопроволочные стальные провода имеют диаметр не менее 4 и не более 5 мм. Ограничение нижнего предела обусловлено тем, что провода меньшего диаметра имеют недостаточную механическую прочность. Верхний предел ограничен из-за того, что изгибы провода большего диаметра могут вызвать в его внешних слоях остаточные деформации, снижающие его механическую прочность.

При сооружении районных сетей 35÷330 кВ широко используют сталеалюминиевые провода. Внутренняя часть таких проводов выполнена из стали в виде одной или нескольких свитых стальных оцинкованных проволок, а наружная – из алюминиевых проволок, покрывающих сердечник одним, двумя или тремя повивами. Стальные проволоки несут механическую нагрузку, алюминиевые – электрическую и механическую. Применяют также биметаллические провода, в которых стальную жилу покрывают толстым слоем меди или алюминия электролитическим способом, что значительно повышает электропроводность провода и позволяет путем изменения соотношения сечений меди/алюминия и стали получить провода с характеристиками, близкими к характеристикам медных или стальных проводов.

Широко используются также самонесущие кабели, которые содержат стальной трос внутри своей конструкции, что значительно упрощает монтаж кабеля. Стальной трос внутри конструкции не дает кабелю растягиваться, соответственно, нет дополнительных нагрузок и на медную жилу, и на изоляцию, что повышает надежность работы такого кабеля [7].

Некоторые кабели могут иметь специальную броню. Самое очевидное достоинство бронированных кабелей – повышенная прочность и способность выдерживать большие механические нагрузки, а также защита от влаги, грызунов и механических ударов. С помощью этого типа кабелей к электрическому питанию подключают, например, промышленное и транспортное оборудование. Броня может быть выполнена в виде стальных оцинкованных лент, стальной оцинкованной проволоки или стальных гофрированных лент [8].

Специальные методы диагностики электрокабелей

Существуют различные системы контроля параметров электрического кабеля. Однако они направлены в основном на контроль их изоляции [9]. Известные системы бесконтактного контроля параметров кабеля основаны на использовании оптических, емкостных и ультразвуковых эффектов. Среди них наибольшее распространение получили оптические методы измерения диаметров [10, 11]. Однако устройства контроля, реализующие данные методы, не позволяют диагностировать ферромагнитные элементы, находящиеся внутри кабеля, например, контролировать диаметр внутренней стальной проволоки сталеалюминиевого провода или внутреннего стального троса самонесущего кабеля. Следует отметить, что ведь именно этот параметр является для указанной кабельной продукции одним из наиболее важных, поскольку потеря сечения приводит к резкому ухудшению их эксплуатационных показателей. Это резко сужает область применения известных способов контроля. Кроме того, они сложны и требуют трудоемкой вычислительной обработки измерительных сигналов, что определяет их высокую стоимость.

Кроме того, известно, что для контроля различных параметров ферромагнитных объектов широко применяются такие методы магнитной дефектоскопии, как метод постоянного магнитного поля и метод переменного магнитного поля.

Например, в качестве метода постоянного магнитного поля можно привести способ обнаружения дефектов в ферромагнитном объекте, основанный на намагничивании объекта контроля до технического насыщения, и регистрации

изменения градиента напряженности магнитного поля рассеяния, образующегося в области нахождения данного дефекта. Изменение градиента напряженности магнитного поля рассеяния используется в качестве первичного информативного параметра для выявления дефектов и фиксируется соответствующими измерительными датчиками, например, датчиками Холла, или магниторезисторами [12] или с помощью катушек, расположенных в зоне основного намагничивающего потока, посредством которых определяют электродвижущую силу при движении контролируемого объекта относительно этих катушек [13]. Его недостатки – невысокая достоверность обнаружения дефектов и зависимость точности контроля от скорости перемещения объекта в процессе контроля.

В свою очередь, метод переменного магнитного поля заключается в том, что на контролируемый ферромагнитный объект воздействуют переменным магнитным полем, создаваемым переменным намагничивающим током, формируют измерительный и опорный периодические электрические сигналы, сравнивают измерительный и опорный сигналы и по параметрам результата сравнения судят о наличии дефектов в объекте, причем опорный сигнал формируют пропорциональным току намагничивания, сравнение измерительного и опорного сигналов проводят путем наложения на последний сигнала намагничивающего переменного тока в противофазе, а контроль поля осуществляют по сдвигу фазы и изменению амплитуды высших гармоник сформированного на объекте сигнала [14].

В качестве одного из примеров интерпретации метода переменного магнитного поля можно привести следующую структурную блок-схему (рис. 1), включающую в себя следующие функциональные блоки: 1 – генератор переменного тока намагничивания; 2 – формирователь переменного магнитного поля (возбуждающая катушка); 3 – контролируемый объект; 4 – формирователь периодического электрического сигнала (измерительная катушка); 5 – блок сравнения сигналов; 6 – формирователь опорного сигнала. Блоки 2, 3 и 4 в своей совокупности образуют трансформаторный датчик.

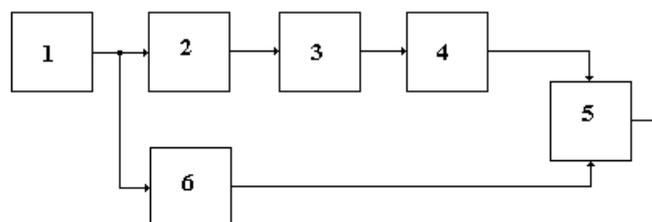


Рисунок 1. Структурная блок-схема реализации метода переменного магнитно поля

При реализации данного способа обнаружения дефектов в длинномерном ферромагнитном объекте намагничивание этого объекта переменным магнитным полем осуществляют посредством возбуждающей (намагничивающей) катушки 2 трансформаторного датчика с последующей регистрацией ЭДС индукции измерительной катушкой 4 этого датчика, причем в качестве элемента магнитной цепи трансформаторного датчика используют непосредственно сам контролируемый объект 3. Таким образом, в качестве первичных информативных параметров для выявления дефектов в контролируемом объекте используют изменения геометрических размеров и магнитного состояния элементов магнитной цепи трансформаторного датчика, обусловленные наличием дефекта в контролируемом объекте и вызывающие соответствующие вариации индуктивности или взаимной индуктивности обмоток намагничивающей и измерительной катушек.

Недостатком этого способа является невысокая точность контроля дефектов, обусловленная тем, что изменение магнитного поля вследствие локального дефекта, на которое измерительная катушка реагирует изменением ЭДС, происходит на фоне высокого начального уровня сигнала, поэтому количественная оценка такого относительно небольшого изменения сигнала оказывается недостаточно точной.

С учетом результатов проведенного анализа известных методов контроля и диагностики предлагается новый способ диагностики ферромагнитных элементов силовых кабелей, который включает в себя следующий набор последовательных операционных действий:

- на контролируемый длинномерный ферромагнитный объект воздействуют физическим полем;
- формируют измерительный и опорный периодические электрические сигналы;
- сравнивают противофазным наложением измерительный и опорный сигналы;
- по результатам сравнения судят об эксплуатационных параметрах контролируемого объекта, например, о потере сечения или наличии дефектов в нем.

Отличительными особенностями данного метода являются следующие физические и технологические факторы (рис. 2):

- в качестве физического поля используют одновременно переменное электрическое и постоянное магнитное поля;
- физическим полем воздействуют одновременно на контролируемый длинномерный ферромагнитный объект 1 и на эталонный ферромагнитный объект конечной длины 2, соответствующий сортаменту контролируемого объекта нормального качества без дефектов;
- посредством этого воздействия в обоих объектах возбуждают магнитоэлектрический и магнитомодуляционные эффекты, при помощи которых формируют измерительный сигнал, пропорциональный изменению физического поля в контролируемом объекте, и опорный сигнал, пропорциональный изменению физического поля в эталонном объекте, причем измерительный и опорный сигналы формируют в виде соответствующих ЭДС индукции, содержащих трансформаторную и магнитомодуляционную составляющие;
- для обнаружения дефектов типа потери металлического сечения в качестве параметра результата сравнения используют разность трансформаторных составляющих ЭДС измерительного и опорного сигналов на частоте возбуждения вибраторной антенны;
- для обнаружения локальных дефектов в качестве параметра результата сравнения используют разность магнитомодуляционных составляющих ЭДС измерительного и опорного сигналов на удвоенной частоте возбуждения вибраторной антенны;
- переменное электрическое поле в объекте создают посредством вибраторной антенны конденсаторного типа, а воздействие физическим полем осуществляют на частоте электромеханического резонанса (ЭМР) контролируемого длинномерного ферромагнитного объекта.

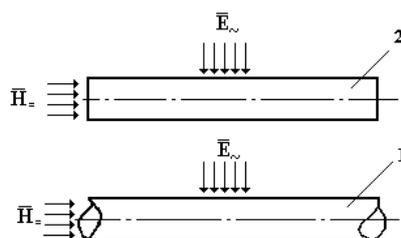


Рисунок 2. Основные отличительные физические факторы нового метода диагностики

Рассматриваемый способ обнаружения дефектов в длинномерном ферромагнитном объекте в целом можно интерпретировать следующей условной блок-схемой его реализации (рис. 3), где 1 – генератор переменного напряжения; 2 – формирователь переменного электрического поля; 3 – формирователь постоянного магнитного поля; 4 – формирователь конфигурации физического поля; 5 – намагничивающий модуль; 6 – контролируемый объект; 7 – формирователь измерительного сигнала; 8 – эталонный объект; 9 – формирователь опорного сигнала; 10 – блок сравнения сигналов. Блоки 2, 3 и 4 в своей совокупности образуют намагнитчи

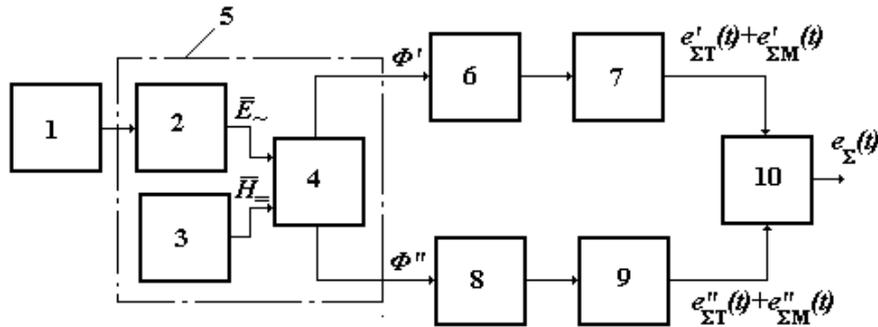


Рисунок 3. Условная блок-схема реализации нового метода диагностики

Особенности реализации нового метода диагностики электрокабелей

Более полное представление сущности предлагаемого технического решения дает обобщенная блок-схема его реализации (рис. 4), где 1 – генератор ВЧ-напряжения; 2 – формирователь переменного электрического поля в виде вибраторной антенны конденсаторного типа; 3 – формирователь постоянного магнитного поля в виде двухполюсного постоянного магнита; 4 – формирователь конфигурации физического поля в виде разветвленного двухконтурного магнитопровода; 5 – намагничивающий модуль; 6 – контролируемый кабель; 7 – формирователь измерительного сигнала в виде первой регистрирующей катушки; 8 – эталонный кабель; 9 – формирователь опорного сигнала в виде второй регистрирующей катушки; 10 – блок сравнения регистрирующих сигналов; 11 – блок обработки выходного сигнала.

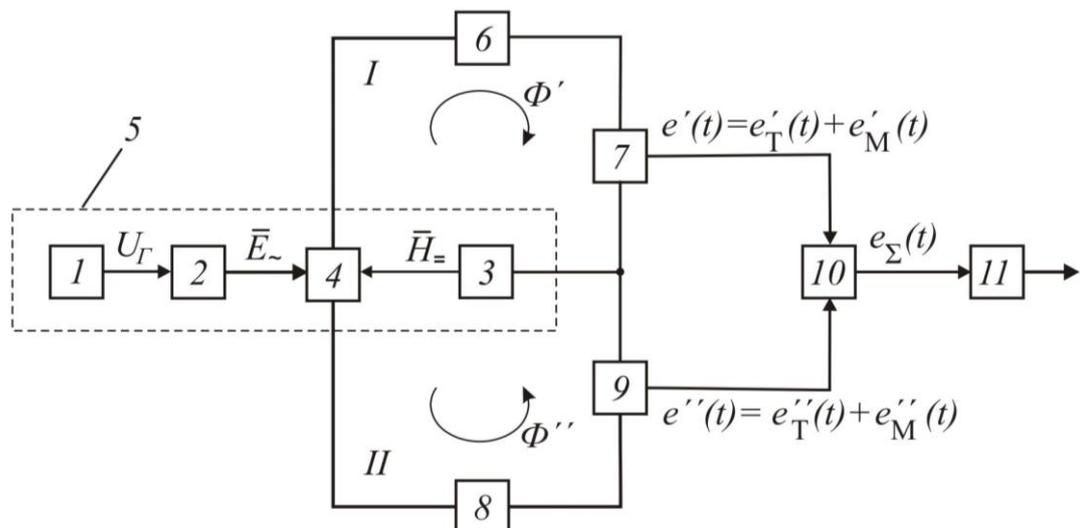


Рисунок 4. Обобщенная структурная блок-схема реализации нового метода диагностики

В качестве эталонного объекта 8 используют отрезок кабеля конечной длины с

гарантированным отсутствием дефектов, полностью идентичный контролируемому объекту 6. Разветвленный магнитопровод образует вместе с объектами 6 и 8 два идентичных взаимосвязанных ферромагнитных контура I и II, через которые определенным образом конфигурируются «гибридные» магнитные потоки Φ' и Φ'' , возбуждаемые суммарным физическим полем, создаваемым вибраторной антенной 2 и постоянным магнитом 3. В сущности, намагничивающий модуль и регистрирующие катушки 7 и 9 образуют аналог трансформаторного измерительного датчика (ИД).

Диагностика кабеля осуществляется следующим образом. На контролируемый участок кабеля 6 и на эталонный отрезок кабеля 8 воздействуют физическим полем с помощью намагничивающего модуля 5. Указанное физическое поле складывается из переменного электрического поля \bar{E}_- , создаваемого посредством вибраторной антенны 2, и постоянного магнитного поля \bar{H}_- , создаваемого двухполюсным постоянным магнитом 3. Вибраторная антенна 2 является излучающей резонансной антенной конденсаторного типа с сосредоточенной емкостью C [15], которую возбуждают переменным напряжением вида

$$U_T = u(t) = U_m \cdot \cos \omega t$$

на частоте электромеханического резонанса (ЭМР) ферромагнитных элементов кабеля 6 генератором 1.

В связи с тем, что переменное электрическое поле вибраторной антенны 2 на ЭМР фактически возбуждает механическое взаимодействие магнитоэлектрического и пьезоэлектрического структурных компонентов материала магнитной цепи, то во всем объеме этой магнитной цепи наряду с продольной составляющей магнитного поля поперечно-электрической ТЕ волны (волна магнитного типа Н), возбуждаемой вибраторной антенной, дополнительно под действием переменного электрического поля возникает магнитоэлектрический эффект (МЭ), который лежит в основе явления модуляции (периодического изменения) магнитной проницаемости ферромагнитного материала. Поскольку МЭ эффект в материале элементов магнитной цепи наблюдается в механически связанных магнитоэлектрической и пьезоэлектрической структурных компонентах, то он резко увеличивается вблизи частоты ЭМР. В этом случае одновременное существование МЭ эффекта, ответственного за появление магнитомодуляционной ЭДС, и продольной составляющей магнитного поля поперечно-электрической ТЕ волны, определяющей возникновение трансформаторной ЭДС, существенно повышает как чувствительность самого метода, так и точность идентификации вида дефекта.

Для предотвращения намагничивания ферромагнитных элементов контролируемого и эталонного кабеля, а также для интенсификации МЭ обеспечивают условие:

$$\bar{H}_0 \ll H_m, \quad (1)$$

где H_0 – напряженность магнитного поля, создаваемая постоянным магнитом; H_m – амплитуда продольной составляющей магнитного поля поперечно-электрической ТЕ волны, возбуждаемой вибраторной антенной.

Такое соотношение обеспечивает протекание процессов в ферромагнитных материалах в зоне максимального изменения их магнитной проницаемости и создает оптимальные условия не только для возбуждения продольной составляющей магнитного поля поперечно-электрической ТЕ волны, но и необходимые условия для наибольшего проявления МЭ.

В общем случае в предлагаемом методе диагностики осуществляется фактически совместное намагничивание ферромагнитных элементов кабеля, при котором

возбуждающее поле имеет вид:

$$H = H_0 + H_m \sin \omega t. \quad (2)$$

Известно, что кривая намагничивания любых ферромагнитных элементов имеет ярко выраженный нелинейный характер, который можно аппроксимировать интегралом вероятностей:

$$B(H) = (2A/\sqrt{\pi}) \int_0^{\alpha H} e^{-t^2} dt, \quad (3)$$

где A и α – параметры функции.

Разлагая подынтегральную функцию e^{-t^2} в выражении (2) в ряд Маклорена и интегрируя его почленно в заданных пределах, получим:

$$B(H) = \frac{2B_s}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\alpha H} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k t^{2k}}{k!} dt = \frac{2B_s}{\sqrt{\pi}} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k (\alpha H)^{2k+1}}{k!(2k+1)}. \quad (4)$$

Подставляя в уравнение (3) выражение (4), после соответствующих промежуточных преобразований получим соотношение для вычисления составляющих спектра индукции при совместном намагничивании постоянным и переменными полями:

$$\begin{aligned} B(H) &= B(H_0) + \frac{2B_s}{\sqrt{\pi}} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k \alpha^{2k+1} (2k)!}{k!} \times \sum \frac{H_0^{2k+1-2n} H_m^{2n}}{(2k+1-2n)! 2^{2n} (n!)^2} + \rightarrow \\ &\rightarrow + \frac{2B_s}{\sqrt{\pi}} \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{k=i}^{\infty} \sum_{n=i}^k \frac{(-1)^{k+1} \alpha^{2k+1-2n} (2k)! H_m^{2n}}{k!(2k+1-2n)! 2^{2n+1} (n+i)!(n-i)!} \cos 2i\omega t + \rightarrow \\ &\rightarrow + \frac{2B_s}{\sqrt{\pi}} \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{k=i}^{\infty} \sum_{n=i}^k \frac{(-1)^{k+i} \alpha^{2k+1} (2k)! H_0^{2(k-n)} H_m^{2n+1}}{k!(2(k-n))! 2^{2n} (n-i)!(n+i+1)!} \sin(2i+1)\omega t. \end{aligned} \quad (5)$$

Из анализа полученного выражения (5) следует, что вследствие нелинейного характера кривой намагничивания ферромагнитных элементов кабелей магнитомодуляционная ЭДС будет содержать высшие гармоники, которые и содержат необходимую дополнительную диагностическую информацию. При отсутствии постоянного магнитного поля имеются лишь нечетные высшие гармоники (3-я, 5-я и т.д.), а при наличии постоянного магнитного поля наряду с нечетными гармониками появятся и четные гармоники (2-я, 4-я и т.д.).

Магнитные потоки Φ' и Φ'' будут наводить в регистрирующих катушках 7 и 9 соответствующие ЭДС индукции, причем ЭДС $e'(t)$ катушки 7 используют в качестве измерительного сигнала, а ЭДС $e''(t)$ катушки 9 – в качестве опорного сигнала. В связи с тем, что обмотки регистрирующих катушек 7 и 9 включены последовательно-встречно, то в блоке 10 выполняется процесс сравнения противофазным наложением измерительного $e'(t)$ и опорного сигналов $e''(t)$. Каждый из этих сигналов содержит две составляющие – трансформаторную ЭДС и магнитомодуляционную ЭДС:

$$\begin{aligned} e'(t) &= e'_{Т}(t) + e'_{М}(t); \\ e''(t) &= e''_{Т}(t) + e''_{М}(t), \end{aligned} \quad (6)$$

где $e'_{Т}(t)$ и $e''_{Т}(t)$ – трансформаторные ЭДС, наводимые соответствующими

магнитными потоками в катушках 7 и 9 от переменных полей возбуждения; $e'_M(t)$ и $e''_M(t)$ – магнитомодуляционные ЭДС, наводимые модулированным магнитным полем соответственно в катушках 7 и 9.

Исходя из сделанных выше замечаний, величину электрического сигнала с выхода блока 10 (т.е. напряжения небаланса) можно представить в виде следующего выражения

$$e_{\Sigma}(t) = e_{\Sigma T}(t) + e_{\Sigma M}(t), \quad (7)$$

где $e_{\Sigma T}(t) = e'_{T}(t) - e''_{T}(t)$; $e_{\Sigma M}(t) = e'_{M}(t) - e''_{M}(t)$.

Если в контролируемой кабеле 6 дефекты отсутствуют, то $e'(t) = e''(t)$, и на выходе блока 10 формируется нулевое состояние напряжения небаланса этих сигналов $e_{\Sigma}(t) = 0$.

При наличии в контролируемой кабеле 6 дефектов типа локальных дефектов и дефектов типа потери сечения на выходе блока 10 возникает напряжение небаланса $e_{\Sigma}(t) \neq 0$, содержащее в виде первой составляющей трансформаторную ЭДС на частоте возбуждения вибраторной антенны 2, а в виде второй составляющей – магнитомодуляционную ЭДС на удвоенной частоте возбуждения вибраторной антенны 2. В этом случае, обобщая вышесказанное и с учетом (7) и условия (1), для напряжения небаланса можно записать:

$$e_{\Sigma}(t) = \omega \times w_0 \times a_D \times s_D \times H_m \times \cos \omega t - 6 \times \omega \times w_0 \times b_D \times s_D \times H_0 \times H_m^2 \times \sin 2\omega t, \quad (8)$$

где $w_0 = w_1 = w_2$ – число витков регистрирующих катушек; $a_D = (a_1 - a_2) = f(l_D)$ – параметр, отражающий длину дефекта l_D ; $s_D = (s_1 - s_2) = f(h_D)$ – параметр, отражающий высоту дефекта h_D ; $b_D = (b_1 - b_2) = f(\mu_D)$ – параметр, отражающий магнитную проницаемость дефекта μ_D .

После соответствующей обработки электрического сигнала блоком 11 определяют отсутствие или наличие локального дефекта, осуществляют его идентификацию и определяют его геометрические и физико-химические характеристики.

Заключение

Проведённые натурные исследования устройства, реализующего описанный способ обнаружения дефектов в ферромагнитных элементах кабеля, подтвердили его эффективность и высокую информативность.

Преимущества предложенного способа диагностики ферромагнитных элементов силового кабеля:

- наличие дополнительного постоянного магнитного поля обеспечивает значительное повышение чувствительности;
- обнаружение дефектов реализуется как в случае неподвижного, так и перемещающегося объекта контроля;
- обеспечивает высокую точность измерения, повышение помехоустойчивости и упрощение конструкции ИД за счет использования различных физических эффектов;
- обеспечивает быструю перенастройку для контроля различных кабелей путем соответствующей замены эталонного объекта, поскольку дополнительной калибровки блока 10 для исключения влияния температуры или других внешних факторов, влияющих на величину суммарного поля, не требуется, т.к. обе измерительные катушки работают в одинаковых условиях, что упрощает процесс контроля.

В заключение отметим, что разработанный метод может быть использован для диагностики как силовых кабелей, так и для других длинномерных ферромагнитных объектов, таких как стальные канаты, металлические трубы, рельсы и т.п.

Дефектоскопы, использующие предложенный способ, обладают малыми габаритами, малым весом и автономным питанием. При этом контролируемый объект не потребует дополнительного намагничивания до технического насыщения. Все это позволяет производить оперативную техническую диагностику кабелей как при их производстве, так и в процессе укладки и эксплуатации.

Широкое использование способа при дефектоскопическом контроле длинномерных ферромагнитных объектов в составе уже существующих компьютеризированных диагностических систем обеспечит соответствующее повышение достоверности обнаружения локальных дефектов и снижение погрешности измерения потери металлического сечения за счет информационной избыточности и алгоритмизации обработки измерительной информации. Это, в конечном счете, позволит реализовать детальный анализ результатов дефектоскопии и организовать соответствующий мониторинг процесса производства, а также динамики износа и повреждения длинномерных ферромагнитных объектов.

Литература

1. Пешков И.Б. Мировые тенденции развития кабельной техники // Кабели и провода. – 2002. – № 3. – С. 15 – 19.
2. Основы кабельной техники: учебник; под ред. И. Б. Пешкова. – М.: Академия, 2006. – 432 с.
3. Новодворец Л. А. Испытание и проверка силовых кабелей. – М.: Энергия, 1970. – 112 с.
4. Холодный С. Д., Серебрянников С.В., Боев М.А. Методы испытаний и диагностики в электроизоляционной и кабельной технике: учебное пособие. – М.: Изд-во МЭИ, 2009. – 232 с.
5. Приборы технологического контроля для кабельного производства. Каталог продукции «ЭРМИС-2003». – Томск, 2003. – 15 с.
6. Будзко И. А., Лещинская Т. Б., Сукманов В. И. Электроснабжение сельского хозяйства. – М.: Колос, 2000. – 536 с.
7. ГОСТ 16092-78. Кабели многожильные гибкие подвесные. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 11 с.
8. ГОСТ 7006-72. Покровы защитные кабелей. Конструкция и типы, технические требования и методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 16 с.
9. ГОСТ Р МЭК 60811-1-1-98. Общие методы испытаний материалов изоляции и оболочек электрических кабелей. Измерение толщины и наружных размеров. Методы определения механических свойств. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 12 с.
10. Федоров Е.М., Гольдштейн Е.Е., Свендровский А.Р., Редько В.В. Измеритель диаметра и эксцентриситета электрического кабеля на основе индуктивнооптического метода // Известия Томского политехнического ун-та. – 2010. Т. 316. – № 2. – С. 130–134.
11. Федоров Е.М. Технологический контроль диаметра и эксцентриситеты электрического кабеля в процессе производства / дисс. канд. техн. наук. Томск, 2010. – 154 с.
12. Патент РФ № 2204129. МПК G01N27/82, опубл. 10.05.2003.
13. Патент РФ № 2469307. МПК G01N27/82, опубл. 10.12.2012.
14. Патент РФ № 2025723. МПК G01N27/87, опубл. 30.12.1994.
15. Брякин И.В. Модулятор на базе С-антенны // Вестник КРСУ. – 2015. Т. 15. – № 9. – С. 112 –116.

УДК 621

*Ж.Ш. Шаршеналиев, К.Э. Эралиев, Б.И.Исмаилов
Институт автоматизации и информационных технологий.
Кыргызстан, Бишкек*

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО БЕСПРОВОДНОГО КОНТРОЛЯ РЕЖИМОВ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ОБЪЕКТАХ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Рассматриваются вопросы разработки автоматизированной системы дистанционного беспроводного контроля влажности и температуры с передачей данных измерения исследуемого объекта через каналы сотовой связи. Приведены результаты разработки и реализации аппаратно-программного комплекса системы, позволяющего контролировать указанные параметры в хранилищах с большим объемом хранения сельхозпродукции, с целью сохранения качества и количества продуктов.

Ключевые слова: температура; влажность; передача информации; сотовая связь; качество.

Введение. Целью данной работы является исследование, разработка и создание комплекса технических и программных средств, которые в совокупности образуют информационно-измерительную систему с дистанционной передачей измерительной информации от контролируемого объекта в центр диспетчерского управления посредством сотовой связи.

В настоящее время задача контроля параметров и управления объектом на расстоянии является актуальной для различных отраслей народного хозяйства, при этом расстояния могут быть весьма значительны, где невозможно создать проводную инфраструктуру. Одним из способов решения этой задачи является возможность использования уже построенных сетей сотовой связи, при этом удастся избежать сложностей проектирования и получения разрешительных документов для создания автономной сети с мощным передатчиком, приемником и другими элементами инфраструктуры.

Проведенный нами анализ характеристик стоимости и надежности различных систем передачи информации показал перспективность применения в настоящее время беспроводных систем с использованием каналов сотовой связи GSM/GPRS [1].

Такая система передачи информации обеспечивает пакетную передачу данных по многоканальной линии связи и широко используется в системах контроля и управления технологическими процессами на объектах с распределенными параметрами. Основной отличительной особенностью таких многоканальных систем является возможность уплотнения линии связи, обеспечивающей независимую передачу по ней нескольких сообщений одновременно, с возможностью их последующего разделения на приемной стороне.

Сотовая связь позволяет гибко интегрироваться с любой организационной структурой. С её помощью может быть создана как централизованная структура, в которой данные собираются в единый диспетчерский центр, так и рассредоточенная структура, в которой данные поставляются сразу в несколько параллельно работающих центров.

Многоканальные системы передачи информации, обеспечивающие независимую передачу нескольких сообщений по одной линии связи, широко используются в системах управления для передачи информации, поступающей от многочисленных датчиков, установленных на объектах управления, а также для обмена данными между устрой-

ствами различных уровней управления. Такие системы незаменимы при управлении объектами, расположенными на значительных расстояниях от центра управления. Технология пакетной передачи данных по радиоканалу GPRS в системах GSM позволят осуществлять такую передачу информации [2,3].

В системе GPRS пользователь может получить доступ к общественным сетям передачи данных напрямую через свои адреса стандартных протоколов (IP, X.25), которые могут быть активированы при МС присоединении к GPRS сети. Распределение ресурсов в сети GPRS является динамичным и зависит от спроса и наличия ресурсов. Необходимо отметить, что во всех сферах уже широко используется сотовая связь для передачи информации в автоматических системах.

Проводимая лабораторией ОЦСУ научно-исследовательская работа по разработке автоматизированных систем дистанционного мониторинга и управления технологическими режимами на объектах с распределенными параметрами с передачей информации через каналы сотовой связи может быть использована в различных областях народного хозяйства. Например:

- в энергетике, для контроля температуры обмоток высоковольтных трансформаторов;
- в строительстве, для контроля собственных колебаний высотных зданий;
- в перерабатывающей промышленности, для контроля температурных режимов различных технологических процессов.

В связи с Постановлением правительства Кыргызской Республики №618 от 4 сентября 2015г. «Программа национальной стратегии продовольственной безопасности страны» и одним из её приоритетов «Модернизация и создание мощностей для хранения сельхозпродовольствия» было решено разработать такую систему для хранилищ с большим объемом хранения сельхозпродукции и продовольствия с целью сохранения их качества и количества.

Структурная схема. Структурная схема автоматизированной системы дистанционного мониторинга температуры и влажности с передачей информации через каналы сотовой связи и Интернет показана на рис. 1.

В процессе разработки выбраны и обоснованы технические средства автоматизированной системы дистанционного мониторинга температуры и влажности с передачей информации через сотовую связь:

- средства измерения – модуль датчика температуры и влажности DHT22 с внутренним преобразователем аналогового сигнала в цифровой;
- средства сбора, обработки и накопления информации – платформа Arduino uno на базе микроконтроллера AT mega 328, имеющего 14 цифровых входов/выходов;
- средства дистанционной передачи информации – модуль SIM900A интерфейса сотовой связи GSM/GPRS, обеспечивающий прием/передачу информации через неиспользуемые в данный момент голосовые каналы сотовой связи любого сотового оператора;
- средства приема, хранения и отображения информации:
 - сервер – часть компьютерной сенсорной сети для приема и хранения данных, полученных с датчиков температуры и влажности;
 - персональный компьютер оператора диспетчерского центра, в котором отслеживается и отображается на мониторе оперативная информация о состоянии параметров объекта.

Разработаны средства обеспечения питания – стабилизированные источники питания AC/DC для модулей Arduino uno и SIM900A.

Автоматизированная система позволяет оператору диспетчерского центра получать информацию на свой персональный компьютер из базы данных сервера.

Для каждого из приведенных устройств ведется разработка программного обеспечения.

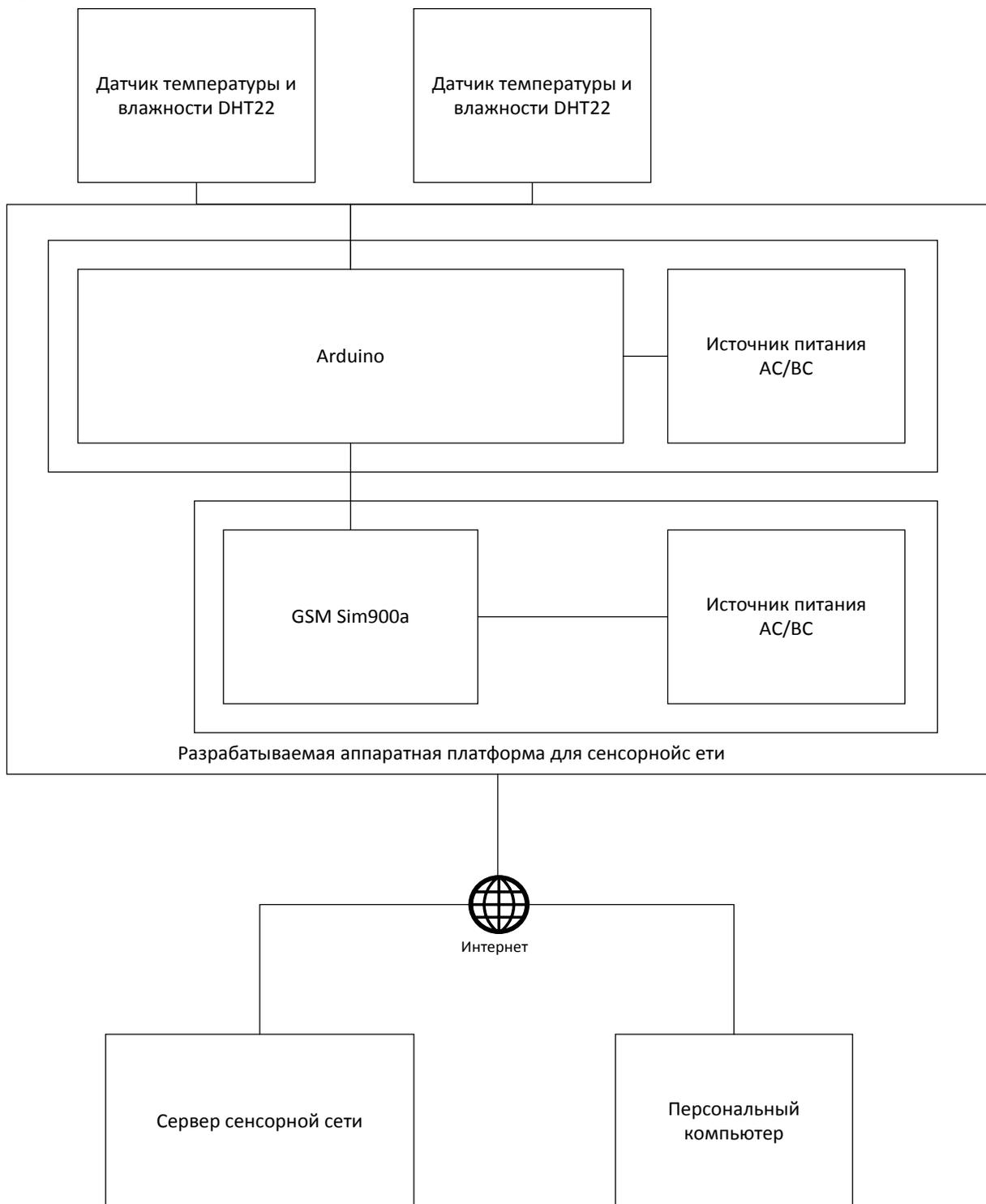


Рисунок 1. Структурная схема автоматизированной системы дистанционного мониторинга температуры и влажности с передачей информации через каналы сотовой связи и Интернет

Система работает в режиме реального времени и оснащена средствами сбора, обработки, отображения, регистрации, анализа, хранения и передачи информации через сотовую сеть.

Программное обеспечение системы имеет 2 уровня программ: ПО верхнего и ПО нижнего уровня.

Верхний уровень программ обеспечивает функции обработки информации, ведения базы данных, отображения на экране оперативной информации и обслуживает автоматизированное рабочее место (АРМ) на базе персонального компьютера и сервера сенсорной сети.

Нижний уровень программ обеспечивает сбор информации о технологическом процессе в режиме реального времени, координацию и синхронизацию отдельных подсистем и обслуживает ряд датчиков температуры и влажности DHT22 и аппаратно-вычислительный модуль.

Аппаратно-вычислительный модуль состоит из микроконтроллера AT mega 328 P и модуля интерфейса Sim 900A, обеспечивающего возможность передачи информации через сотовую связь в центр хранения и обработки информации. При этом может быть применена Sim-карта любого сотового оператора.

Модуль датчика влажности и температуры DHT22

Данные модуля DHT22 передаются в цифровом виде по интерфейсу 1-WIRE. После включения питания и до первого обращения к датчику должно пройти не менее 1 секунды. Микроконтроллер (МК) модуля DHT22 должен установить соединенный с датчиком вывод в режим ВЫХОД. Далее на выходе МК формируется сигнал логического 0, продолжительностью не менее 18 миллисекунд. Затем выход МК переводится в режим логической 1 на время не менее 50 микросекунд. После этого МК переводит контакт в режим ВХОД, готовясь принимать данные. Далее датчик начинает передавать данные.

Цифровой датчик измерения температуры и влажности DHT22 имеет следующие технические характеристики:

- напряжение питания - 3,3–5,5 В;
- диапазон измерения температуры - от – 40°C до 80°C;
- точность измерения температуры - $\pm 0,5^\circ \text{C}$;
- диапазон измерения относительной влажности - 0–100%;
- точность измерения относительной влажности - $\pm 2\%$;
- время отклика - 2 с;
- ток, потребляемый в режиме измерения - 1-1,5 мА;
- ток, потребляемый в режиме ожидания - 0 – 50 мкА

Микроконтроллер AT mega 328 на базе платформы Arduino uno

Микроконтроллер AT mega 328 предназначен для обработки информации, полученной от датчика влажности и температуры, и передачи её через сотовую связь (модуль Sim 900A) в базу данных сервера управления.

Преимуществами данного микроконтроллера, определяющими перспективность его применения, являются:

- высокая адаптивность к различным типам датчиков;
- достаточное быстродействие;
- простота сопряжения с персональными компьютерами и интерфейсом сотовой связи;
- малое энергопотребление, позволяющее использовать его автономно;
- низкая цена;
- простота настройки.

Указанные преимущества и послужили основанием для применения этого микроконтроллера в аппаратно-вычислительном модуле автоматизированной системы контроля температуры и влажности различных производственных процессов.

Технические характеристики AT mega 328:

- тактовая частота - 6 МГц.
- объем флеш-памяти (FLASH) - 32 кб;
- объем оперативной памяти (SRAM) - 2 кб;
- объем энергонезависимой памяти (EEPROM) - 1 кб;
- напряжение питания - 5 В.

Плата микроконтроллера может получать питание как от USB-порта компьютера, так и от внешнего источника. В качестве внешнего источника может использоваться либо сетевой адаптер (AC\DC) либо батарея питания.

Модуль микроконтроллера имеет средства для связи с компьютером или другими микроконтроллерами. Это обеспечивает интерфейс с выходами RX(0) и TX (1), на которые поступают сигналы логического уровня TTL (5В).

Модуль SIM900A. Для обеспечения передачи информации через сотовую связь к Arduino подключается модуль SIM900A интерфейса сотовой связи GSM/GPRS, обеспечивающий прием/передачу информации .

Управление осуществляется AT-командами, поддерживаемыми модулем SIM900A, стандартными и фирменными.

Экспериментальная отработка сенсорной части автоматизированной системы мониторинга температуры и влажности. Для экспериментальной отработки сенсорной (датчиковой) части системы была собрана схема, показанная на рис. 2, и установлена библиотека DHT.

Отработка стыковки датчика с микроконтроллером осуществлялась путем передачи измерительной информации с последовательного порта платформы Arduino uno на компьютер с отображением её на мониторе.

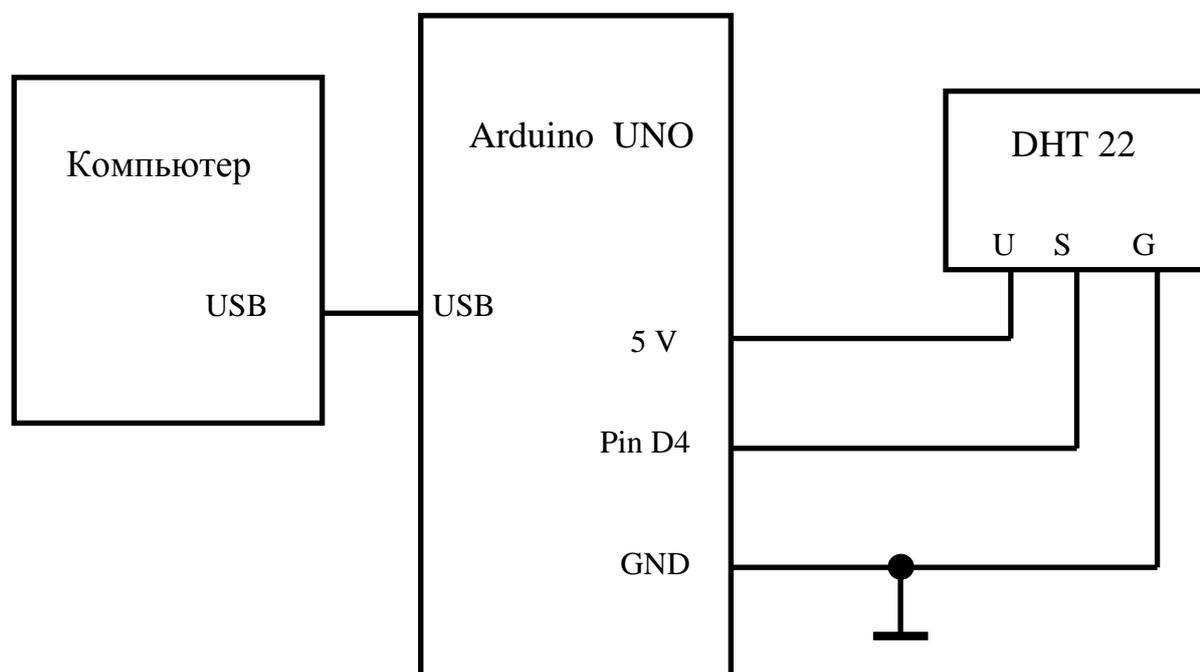


Рисунок 2. Схема отработки стыковки датчика с микроконтроллером

На рис. 3 приведены показания датчика влажности и температуры на мониторе компьютера, поступающие с последовательного порта Arduino uno.

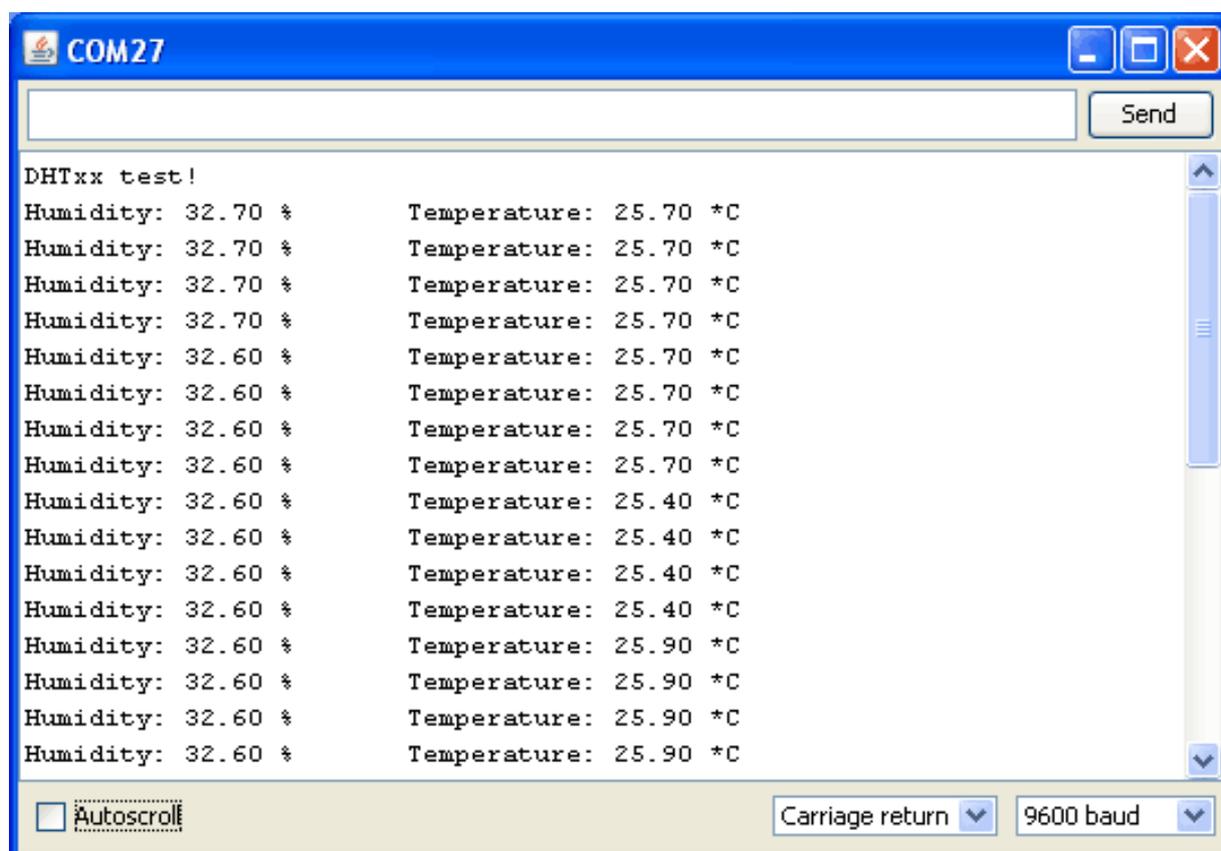


Рисунок 3. Показания датчика влажности и температуры

Выводы. Проверка показала корректную работу датчика DHT22 в комплекте с микроконтроллером AT mega 328 на базе платформы Arduino uno.

Информация, полученная от датчиков температуры и влажности, передается и сохраняется в базе данных сервера управления. Передача информации осуществляется через сотовую связь (GSM/GPRS) посредством стыковки программируемого микроконтроллера AT mega 328 с модулем интерфейса Sim900A с использованием Sim-карты любого сотового оператора.

Литература

- 1 Печаткин Л.В. Системы мобильной связи. Принципы организации, функционирования и частотного планирования системы мобильной связи. – Рыбинск: РГАТА – 2008.– 122 с.
- 2 Шилин А.Н. Анализ потерь радиосигнала сотовой связи. 2016. С 48–56.
- 3 Бобков В.Ю., Полынцев П.В., Устюжанин В.И. Качество услуг мобильной связи. Оценка, контроль, управление. – Телеком, 2005. – 160 с.

УДК:621.315:592.201

*У.Ш. Шукуров., Ш.А. Акчалов, Ш.К. Калысбеков, С.К. Турусбеков
Институт автоматизации и информационных технологий НАН КР*

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ВЫРАЩИВАНИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Рассматриваются возможности существующих методов выращивания монокристаллов. Показано, что приложенное электрическое поле в зависимости от полярности способствует легированию монокристалла преимущественно либо анионной, либо катионной примесью.

Ключевые слова: метод Чохральского, расплав, электрическое поле, полупроводники и диэлектрики, дипольный момент.

Введение. Наличие доступных энергетических ресурсов всегда было необходимо для удовлетворения потребностей человека и улучшения условий его жизни. Темпы развития энергетики всегда опережают темпы развития других отраслей промышленности. В то же время она является одним из источников негативного воздействия на состояние окружающей среды и человека.

В структуре мирового топливно-энергетического баланса в настоящий момент главную роль играет органическое топливо и в ближайшее время это преобладание сохранится, хотя наблюдается интенсивный рост доли возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

В настоящее время основным материалом для создания ВИЭ на основе солнечной энергии является монокристаллический кремний, в котором происходит преобразование энергии солнечного излучения в электрическую. Поэтому исследования по изучению технико-эксплуатационных характеристик с целью повышения коэффициента полезного действия солнечных модулей являются актуальными.

В настоящей работе проводится всесторонний анализ существующих методов выращивания монокристаллов полупроводников, улучшения и расширения их потребления в энергетике.

Полупроводники и диэлектрики являются группой материалов электронной техники, на основе которых изготавливают активные и пассивные компоненты альтернативной энергетики и электронной аппаратуры. Технологические процессы получения этих материалов в виде монокристаллов имеют много общего, взаимодополняющего, что делает целесообразным их совместное рассмотрение [1,2,3].

Установлено, что такие химические элементы как бор, углерод, кремний, фосфор, сера, германий, мышьяк и другие, обладают четко выраженными полупроводниковыми свойствами. Среди них важнейшими полупроводниковыми материалами являются кремний и германий.

Кремний – второй среди химических элементов по распространенности в природе (после кислорода), содержание его в земной коре составляет 29,5%. Существует две модификации кремния: кристаллическая и аморфная. Большой интерес для фотоэлектрических преобразователей представляет кремний, находящийся в кристаллическом состоянии. Один килограмм кремния в фотоэлектрической станции за 30 лет вырабатывает такое количество энергии, для производства которого на теплоэлектростанции потребуется 75 тонн нефти. Не случайно кремний называют нефтью XXI века.

Явление кристаллизации было известно уже в древности и применялось для выделения веществ. Технология получения монокристаллов полупроводникового кремния состоит из следующих этапов:

1. Получение технического кремния.
2. Превращение кремния в легколетучее состояние, которое после очистки может быть легко восстановлено.
3. Очистка и восстановление соединения, получение кремния в виде поликристаллических стержней.
4. Конечная очистка кремния методом кристаллизации.
5. Выращивание легированных монокристаллов.

Как в отношении технологического развития и дифференцированности, так и по своему разнообразию методы выращивания из расплава имеют значительное преимущество перед другими методами. Эти методы подробно описаны в работах Штебера, Чохральского, Таммана, Наккена, Киропулоса, Стокбаргера, Бриджмена [4]. Из расплавов выращиваются полупроводниковые материалы (германий и кремний), крупные монокристаллы галогенидов щелочей (диэлектриков), а также металлов с массой в несколько килограммов, тугоплавкие металлы и окислы, а с применением давления – летучие или разлагающиеся вещества.

Методы выращивания монокристаллов щелочно-галогидных соединений и кремния из расплава являются самыми распространенными. Для лабораторного и промышленного выращивания щелочно-галогидных монокристаллов наибольшее применение получили методы Киропулоса, Стокбаргера, Чохральского и их модификации. Наибольшее применение получили методы Чохральского (рис.1).

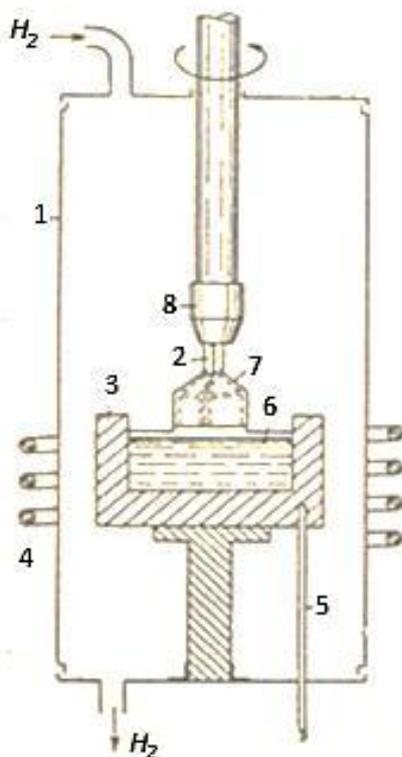


Рисунок 1. Установка для вытягивания монокристаллов по Чохральскому
1 – корпус, 2 – затравка, 3 – тигель, 4 – индуктор печи, 5 – термопара,
6 – расплав, 7 – монокристалл, 8 – шторм.

Суть метода состоит в следующем: В вертикальной цилиндрической печи устанавливается графитовый или платиновый тигель, в который засыпают шихту. После расплавления шихты в печи устанавливают температуру на 50–60 °С выше точки плавления кристаллизуемого вещества. В центральную часть поверхности перегретого расплава опускают затравочный кристалл. Затравка укрепляется на конце специального холодильника, непрерывно охлаждаемого водой или соответствующим газом. После оплавления наружного, поврежденного при выкалывании, слоя начинают понижать температуру расплава. При температуре расплава на 50–20 °С выше точки кристаллизации между слабо перегретым расплавом и интенсивно охлаждаемой затравкой устанавливается тепловое равновесие, и оплавление затравки прекращается. При дальнейшем незначительном понижении температуры на затравке начинает расти монокристалл. Одним из недостатков метода является непостоянство скорости выращивания, поскольку теплообмен по мере роста монокристалла меняется сложным образом. Поэтому в настоящее время проводятся исследования по автоматизацию управления процессом роста монокристаллов кремния [7].

К преимуществам методов Киропулоса и Чохральского по сравнению с другими методами выращивания, например, методом Стокбаргера, можно отнести:

1. Отсутствие прямого контакта между стенками тигля и кристаллом, что способствует получению ненапряженных монокристаллов, не загрязненных материалом тигля.
2. Возможность извлечения кристалла из расплава на любом этапе выращивания, что важно в связи с исследованием условий выращивания.
3. Возможность изменения геометрической формы кристалла при варьировании температуры расплава и скорости выращивания.

Метод Стокбаргера (метод направленной кристаллизации) отличается от методов Киропулоса и Чохральского тем, что закристаллизовывается весь объем расплава, помещаемого в контейнер из жаропрочного материала. Преимуществом этого метода является то, что он технически прост и позволяет выращивать монокристаллы заданной формы подбором соответствующего контейнера.

К недостаткам метода относятся:

1. Расплав и соответственно растущий монокристалл могут загрязняться от материала контейнера.
2. Механическое взаимодействие стенок контейнера с кристаллом при охлаждении может привести к возникновению напряжений в монокристалле.

Практическое применение монокристаллов в большинстве случаев определяются структурой и концентрацией точечных дефектов, создаваемых легирующими примесями, ионизирующими излучениями и другими видами воздействий. Управление внедрением примесей в кристаллическую решетку и регулирование их концентрации во время роста и в готовых монокристаллах имеют важное теоретическое и практическое значение. Предложенный нами способ был апробирован при выращивании легированных монокристаллов КСl как классического диэлектрика с ионной связью [5].

Нами была поставлена задача разработать способ, позволяющий выращивать монокристаллы щелочно-галогидных соединений и других веществ, легированных необходимыми примесями в регулируемых концентрациях. Для решения этой задачи мы учитывали электрическое поле (в дальнейшем его будем называть внутренним), возни-

кающее между расплавом и растущим кристаллом за счет эффекта разделения зарядов при кристаллизации диэлектриков [6].

При выращивании кристаллов диэлектриков и полупроводников, в особенности ионных диэлектриков, на затравке из расплава происходит разделение зарядов на границе «расплав–кристалл». Разделение происходит потому, что при переходе порции вещества в твердое состояние носители заряда разных знаков попадают в твердую фазу в неодинаковом количестве из-за тепловых флуктуаций и неконтролируемых примесей, присутствующих во всех веществах любой степени чистоты. Заряды, попавшие в кристалл, можно считать относительно неподвижными вследствие малой электропроводности, так что при кристаллизации следующей порции вещества эти заряды остаются «вмороженными» в тех местах, где они попали в кристалл. В результате кристалл растет объемно заряженным. Заряды противоположного знака при росте оттесняются фронтом кристаллизации. Во время роста кристалла ионы основного вещества с противоположными знаками зарядов переходят границу «расплав–кристалл» в одинаковом количестве по условию сохранения электрической нейтральности кристаллической решетки. Их вклад в разделение зарядов при кристаллизации определяется тепловыми флуктуациями, которые при постоянной степени переохлаждения минимальны и постоянны. Таким образом, процессы, происходящие при направленной кристаллизации легированных ионных диэлектриков, схожи с процессами, происходящими в гальваническом элементе с большим внутренним сопротивлением.

Суть предлагаемого способа заключается в том, что после образования на затравке монокристаллического слоя к растущему монокристаллу и маточной среде подключается внешнее постоянное электрическое поле. Величина приложенного электрического поля должна быть больше существующего внутреннего электрического поля. Верхний его предел ограничивается электролизом кристаллизующего расплава, при котором останавливается процесс кристаллообразования. Направление внешнего электрического поля выбирается исходя из поставленной задачи. В соответствии с направлением приложенного внешнего поля ионы легирующей примеси в расплаве будут испытывать дополнительную электростатическую силу отталкивания или притяжения растущим кристаллом согласно знаку своих зарядов. Вследствие этого выращиваемый кристалл можно легировать необходимыми примесями-катионами или анионами, прилагая внешнее электрическое поле соответствующего направления между растущим кристаллом и расплавом. Концентрация примесных ионов в растущем монокристалле регулируется величиной приложенного электрического поля и контролируется по величине тока, протекающего между растущим кристаллом и расплавом. Чтобы концентрация легирующей примеси оставалась постоянной, должен быть постоянным ток, текущий через расплав и кристалл. На практике этот ток уменьшается по мере роста кристалла вследствие увеличения сопротивления участка «затравка с кристаллом–расплав», поэтому по мере роста кристалла величину тока можно запрограммировать. Запрограммировав соответствующим образом изменение величины прикладываемого напряжения, можно получить соответствующее распределение примеси в растущем кристалле.

Для практического осуществления предлагаемого способа выращивания легированных монокристаллов KCl была собрана установка, схематическое изображение которой приведено на рис. 2.

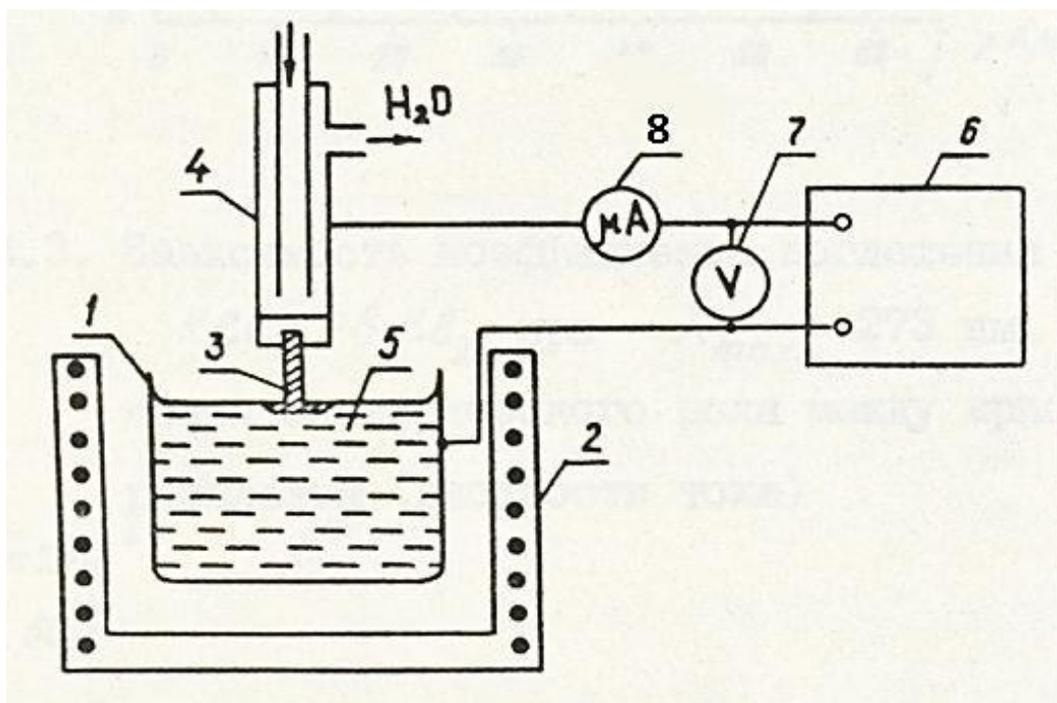


Рисунок 2 Схема установки для выращивания легированных ионных кристаллов в электрическом поле

Установка состоит из электропечи 2, внутри которой расположена платиновая чашка 1 с шихтой 5, холодильника 4 с затравкой 3, стабилизированного выпрямителя 6 с регулируемым выходным напряжением, вольтметра 7 и микроамперметра 8.

Для проверки влияния электрического поля на процесс легирования катионными примесями щелочно-галогидных соединений в установке выращивали монокристалл KCl с легирующей добавкой PbCl₂ с постоянной концентрацией 0,05 моль %. В контрольных опытах выращивание монокристаллов производили без приложения электрического поля и подбирали оптимальную степень переохлаждения. Для сохранения постоянства степени переохлаждения в контрольных и последующих выращиваниях электропечь питалась от стабилизатора переменного тока, расход воды, охлаждающей холодильник, и температура расплава строго контролировались и были постоянными.

Измерения показали, что между растущим монокристаллом KCl и расплавом существует внутреннее постоянное электрическое поле, э.д.с. которого порядка 0,3 В, притом монокристалл заряжен отрицательно. Замечено, что величина и полярность внутреннего поля не зависят от присутствия и природы легирующих примесей. В последующих опытах после образования монокристалла на затравке прикладывалось внешнее постоянное электрическое поле, превышающее по величине внутреннее электрическое поле, с отрицательным полюсом к растущему монокристаллу. При данном направлении приложенного электрического поля ионы Pb²⁺, находящиеся в расплаве, за счет электростатических сил притягиваются к отрицательно заряженному монокристаллу и встраиваются в кристаллическую решетку в большем количестве, чем в отсутствии поля. Напряжение приложенного поля и ток, текущий через растущий монокристалл и расплав, измеряются вольтметром 7 и микроамперметром 8 (рис. 2). Как отме-

чалось выше, чтобы уровень легирования был постоянным, ток, текущий через расплав и растущий монокристалл, тоже должен быть постоянным. Как правило, величина добавочного напряжения, необходимого для поддержания этого постоянства, не превышала 10 % величины первоначально приложенного поля. На рис. 3 приведены средние значения напряжения приложенного поля и соответствующие им плотности тока, текущего через расплав – растущий монокристалл.

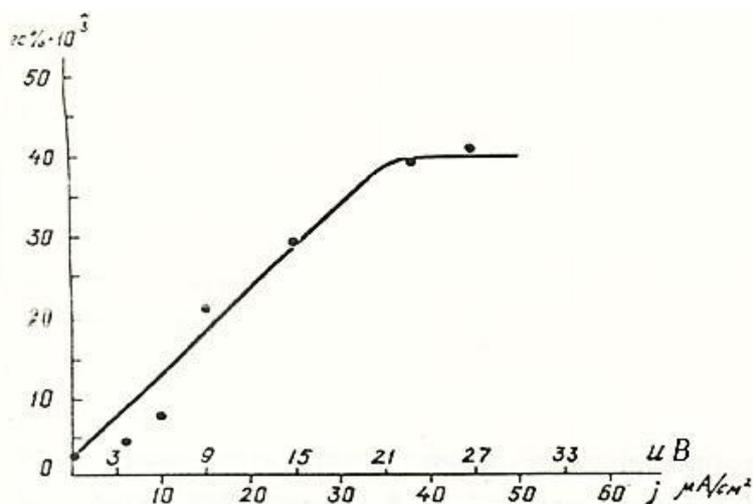


Рисунок 3. Изменение общего содержания свинца в кристаллах KCl:PbCl₂ в зависимости от напряжения электрического поля между кристаллом и расплавом

Концентрация свинца в выращенных монокристаллах определялась методом эмиссионного спектрального анализа. Данные эмиссионного спектрального анализа приведены в табл. 1.

Таблица. Содержание свинца в легированных монокристаллах KCl:PbCl₂

№	Состав шихты	Напряжение, (В)	Содержание Pb % × 10 ⁻³
	KCl+0,05 М% PbCl ₂	0	2,5
	KCl+0,05 М% PbCl ₂	3	5
	KCl+0,05 М% PbCl ₂	10	21
	KCl+0,05 М% PbCl ₂	15	30
	KCl+0,05 М% PbCl ₂	23	40
	KCl+0,05 М% PbCl ₂	27	43
	KCl+0,05 М% PbCl ₂	33	41

Как видно из таблицы и рис. 3, с увеличением напряжения приложенного электрического поля (соответственно плотности тока) увеличивается общая концентрация свинца, т.е. качество легирования монокристалла улучшается. Насыщение легирующей примесью при приложении поля напряжением свыше 20 В (плотности тока >40 μА/см²) обусловлено исходной концентрацией примеси в шихте. Варьируя величину прило-

женного электрического поля и изменяя ее во время роста монокристалла, можно регулировать концентрацию легирующей примеси в необходимых пределах.

Изменяя направление приложенного электрического поля, можно легировать растущий монокристалл примесными ионами с противоположным зарядом, т.е. анионами.

Предложенный нами способ был апробирован при выращивании легированных монокристаллов КСl как классического диэлектрика с ионной связью [5].

Влияние электрического поля при выращивании монокристаллов и поликристаллов, полупроводников из расплава аналогично процессам при выращивании монокристаллов диэлектриков, только чуть менее выражено. Поэтому предлагаемый нами способ выращивания монокристаллов для апробации был предложен Кыргызскому химико-металлургическому заводу (поселок Орловка), где был принят с одобрением.

Заключение. При выращивании монокристаллов диэлектриков и полупроводников методы Чохральского и Киропулоса имеют определенные преимущества перед методом Стокбаргера. В настоящее время для выращивания монокристаллов полупроводников в промышленных масштабах используется метод Чохральского. Установлено, что под действием электрического поля можно произвести дополнительную очистку и выращивать легированные монокристаллы с примесью в регулируемых концентрациях.

Литература

1. Соминский М.С. Полупроводники. Л.: Наука.– 1967.– 440с.
2. Таиров Ю.М., Цветков В.Ф. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов. М.: Высшая школа.– 1990.– 423с.
3. Орешкин П.Т. Физика полупроводников и диэлектриков. М.: Высшая школа.– 1977.–448с.
4. Вильке К.Т. Выращивание кристаллов. Л.: Недра.– 1977.– 600 с.
5. Алыбаков А.А., Шукуров У.Ш., Губанова В.А., Жетимишов Ж.Ж. Способ получения монокристаллов соединений с ионной связью. СССР, А.С. №1148377 от 3.06.1983.
6. Мельникова А.М. Разделение зарядов при кристаллизации // Кристаллография – 1969.– 14,3.– С 548–568.
7. Шаршеналиев Ж.Ш., Миркин Е.Л. Синтез модифицированных алгоритмов адаптивного управления процессом роста монокристаллов кремния // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2012.– №3 (132).– С. 37–44.

АННОТАЦИИ

ДИНАМИКАЛЫК СИСТЕМАЛАРДЫ БАШКАРУУ, ОПТИМАЛДАШТЫРУУ ЖАНА ТУРУКТАШТЫРУУ

ОБЪЕКТТИН ЖОГОРКУ ТЕМПЕРАТУРАЛУУ РЕЖИМДЕРИН ТУРУК-ТАШТЫРУУНУН АЛГОРИТМИ / *Ж.Ш. Шаршеналиев, Т.П. Самохвалова, Л.В. Третьякова.*

Топтолгон параметрлүү татаал системалар үчүн башкаруунун жана турукташтыруунун алгоритмдери түзүлдү. Алгоритмдер Р. Беллмандын динамикалык программалоо ыкмасына жана мүнөздөмөлөр ыкмасына негизделген. Эсептөөлөр Л. Понтрягиндин ыкмасы боюнча эсептөөлөр менен салыштырылды.

Негизги сөздөр: оптималдык башкаруу, турукташтыруу, мүнөздөмөлөр ыкмасы, башкаруу чоңдугунун кескин өзгөрүшү.

МИКРОГЭСТИН ПАРАМЕТРЛЕРИН СТАБИЛДЕШТИРҮҮНҮН БЕЛГИЛҮҮ ЫКМАЛАРЫН ТАЛДОО / Г.Н. Ниязова.

МикроГЭСтен иштелип чыккан электр энергиясынын параметрлерин стабилдештирүү ыкмаларынын негизги классификациясы каралды. Алардын иштөө структуралык схемалары көрсөтүлдү, ар биринин өзгөчөлүктөрү, жетишкендиктери жана кемчиликтери талдоого алынды. Талдоонун негизинде аз кубаттуулуктагы, жаңы типтеги микроГЭСтин өзүн-өзү жөнгө салуучу ыңгайлашкан маховик аркылуу гидротурбинанын айлануу жыштыгын стабилдештирүү ыкмасы сунушталды. Стабилдештирүү принциби гидротурбинанын инерция моментинин чоңдугунун өзгөрүп турушуна негизделген.

Негизги сөздөр: аз кубаттуулуктагы микроГЭС, электр энергиясынын параметрлерин стабилдештирүүнүн ыкмалары, өзүн-өзү жөнгө салуучу ыңгайлашкан маховик

МОНТЕ-КАРЛОНУН ЫКМАСЫ МЕНЕН БАШКАРУУ АЛГОРИТМДЕРИН ПАРАМЕТРДИК ОПТИМАЛДАШТЫРУУ / Р.А. Акматбеков

Автоматтык башкаруу системаларын өнүктүрүүдө көптөгөн системаларды долбоорлоо көйгөйлөрү оптималдаштырууну талап кылат. Алгоритмди башкарууда көпчүлүк параметрлери боюнча тийиштүү баалуулуктары тандоо милдети да параметрге оптималдаштыруу көйгөй катары кабыл алынат. Бул макалада биз сызыктуу, бир өлчөмдүү системалардагы башкаруу алгоритмдердин параметрге оптималдаштыруу маселесин каралган. Кокустук механизми (Монте-Карло ыкмасы) менен нөл-токтому сандык ыкмалардын негизинде көйгөйдү чечүү сунушталган.

Негизги сөздөр: математикалык модель, башкаруу системасы, алгоритм, параметрдик оптималдаштыруу, бир өлчөмдүү система, сапаттын интегралдык квадраттык критерии, Монте-Карлонун ыкмасы.

СИСТЕМАЛАРДЫ ПРОГРАММАЛЫК КАМСЫЗДОО ЖАНА МОДЕЛДӨӨ

**N ТЕЛ ГРАВИТАЦИЯЛЫК ӨЗ АРА АРАКЕТТЕНҮҮСҮН МОДЕЛДӨӨНҮ
ЭЛЕСТЕТҮҮ МИСАЛЫНДА ТАЙЛ ГРАФИКАЛЫК ПРОЦЕССОРЛОРДУН
3D ГРАФИКАСЫН ЭСЕПТӨӨДӨГҮ ОПТИМАЛДАШТЫРУУ ЫКМАСЫ** / *С.Н. Верзунов, Д.А. Токсаитов.*

Физикалык кубулуштарды элестетүү, мисалы үчүн асмандагы телолордун гравитациялык өз ара аракеттенүүсү, көп сандагы бир типтүү 2D жана 3D объектилерин сүрөттөөнү талап кылат. Тилекке каршы, мобилдүү рынокто популярдуу болгон, элестетүүнү

жөнгө салган түзмөктүн графикалык ылдамдаткычынын тайл архитектурасы сүрөт тартуу үчүн көп сандаган өтүнүктөрдү иштеп чыгууга арналган эмес, ошондуктан ушундай өтүнүктөрдүн санын кыскартуу максатында ар түрдүү оптималдаштыруу ыкмаларын пайдаланыш керек. Бул макалада ар бир объектинин жагдайынын абалынын өзгөрүү дарагын колдоого алган, сүрөт тартуу үчүн керектүү гана маалымат топтомун берүүгө арналган, элестетүүнүн графикалык системасын ишке ашыруу сунушталган, мындан тышкары, бул система ташууга арналган объектилердин геометриясын динамикалык түрдө бириктирүү жана/же кайталоо аркылуу алардын санын азайтат. Ошондой эле, система геометриянын акыркы сеткаларынын ортосундагы айырманы гана эсептеп жана ташуу аркылуу маалымат топтомунун шинасын жеңилдетет. Оптималдаштырылбаган версияга караганда өндүрүмдүүлүктүн өсүшү, көптөгөн сандагы телолордун гравитациялык өз ара аракеттенүүсүн моделдөөнүн жыйынтыктарын элестетүү мисалы аркылуу, системанын иштөө ылдамдыгын салыштырмалуу баалоо жолу менен көрсөтүлгөн.

Негизги сөздөр: тайл процессорлору; TBDR архитектурасы; графикалык кыймылдооч; жаңыртуу дарагы; геометрияны айкалыштыруу; геометрияны кайталоо; N тел маселесинин акыркы сеткасынын % айырмасы

АЙЛАНА-ЧӨЙРӨНҮН ПАРАМЕТРЛЕРИН МОНИТОРИНГ КЫЛУУ ТУТУМДАРЫНЫН ПРОГРАММАЛЫК КАМСЫЗДООСУН ИШТЕП ЧЫГУУДА МИКРОСЕРВИСТИК КУРУЛУШ СТИЛИН КОЛДОНУУ / Д.О. Авельцов

Программалык камсыздоонун микросервистик курулуш стили жана аны айлана-чөйрөнүн параметрлерин мониторинг кылуу тутумдарында колдонуунун өзгөчөлүк касиети каралган.

Негизги сөздөр: микросервистик курулуш стили, айлана-чөйрөнүн параметрлерин мониторинг кылуу.

МОДЕЛДӨӨ ЖАНА БАШКАРУУ SMART АРАКЕТИ ИЙКЕМДҮҮ ТАРМАКТАРДЫ КӨЙГӨЙЛӨР / Укуев Б.Т., Назаров Б.Б.

Макала технологиялык жана башкаруу боюнча натыйжалуу энергетикалык объектилер тармактарды жана системаларды башкаруу натыйжалуулугун акылдуу системасын киргизүү менен байланыштуу негизги маселелерди чечүү үчүн мүмкүндүк берет, акылдуу жигердүү-ийкемдүү тармагын ишке ашыруу талкууланат.

Ачкыч сөздөр: акылдуу тор; жигердүү-ийкемдүү тармак; ыкма; энергияс; интеллектуалдык энергия; интеллектуалдык жигердүү-ийкемдүү тармак; акылдуу шаары.

ТҮЗМӨКТӨР, КАРАЖАТТАР ЖАНА АВТОМАТИКА СИСТЕМАЛАРЫ

КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫНЫН ӨЗГӨЧӨ КЫРДААЛДАР МИНИСТРИЛИГИ ПИЛОТСУЗ АППАРАТТАРДЫН БАЗАСЫНДА ЧӨЙРӨДӨГҮ ЖАГДАЙДЫ ВИДЕОМОНИТОРИНГ ЖҮРГҮЗҮҮ КАРАЖАТТАРЫН КОЛДОНУУ БОЮНЧА ТАЛДОО / А.М. Мамбеталиев, А.А. Сомов.

2017-жылдын биринчи жарымында Кыргыз Республикасында жаратылыш жана техногендик кыйроо жерлерин видеодокументтештирүү милдеттерин чечүү үчүн Өзгөчө кырдаалдар министрилиги (ӨКМ) видеомониторинг каражаттарын орнотуу менен пилотсуз учуу аппаратын (ПУА) колдонуу тажрыйбасы каралууда. Кыйроо жерлерин изилдөөдө аныкталган жетишсиздиктердин тизмеси берилип жана аларды чечүү жолдору сунушталууда.

Негизги сөздөр: видеомониторинг, видеодокументтештирүү, видеомаалыматтын агымы, видеостриминг, видеону кайра иштеп чыгуу сервери, суроо-талап боюнча видео, онлайн видео.

ЭЛЕКТР КАБЕЛЬДЕРИН ТЕХНИКАЛЫК АБАЛЫН ОПЕРАТИВДУУ ТЕКШЕРУУ СИСТЕМИ / И.В. Бочкарев, И.В. Брякин, М.Г. Гунина.

Электр кабелдерин далтактоочу жаны ыкма иштелип чыкты, алардын ферромагниттик болукторун магниттик дефектоскоптоо учун багытталган, алардын металынын узуну жана локалдык дефектилерин аныктоого багытталган.

Негизги создор: бир жана копзымдуу болот откоргучтор, болоталюминийлик откоргучтор, озуналып журуучу кабель, трансформаторлук олчоочу билгизгич, конденсатор турундогу титироочу антенна, трансформатордук жана магнит модуляциялык ЭКК

БӨЛҮШТҮРҮЛГӨН ПАРАМЕТРЛЕР МЕНЕН ОБЪЕКТТЕРДЕ ӨНДҮРҮШ ПРОЦЕССИНИН РЕЖИМДЕРИН АЛЫСТАН ЗЫМСЫЗ КОНТРОЛДОО АВТОМАТТЫРЫШТЫРЫЛГАН СИСТЕМАСЫН ИЗИЛДӨӨ ЖАНА ИШТЕП ЧЫГУУ / Ж.Ш. Шаршеналиев, К.Э. Эралиев, Б.И. Исмаилов.

Алыстан зымсыз температура менен нымдуулукту контролдоп жана өлчөөнүн маалыматтарын мобилдүү байланыш каналдары аркылуу берүүгө негизделген автоматташтырылган системаны иштеп чыгуунун маселелери каралып жатат. Продукциянын сапатын жана санын сактоо максаты менен айыл-чарба продукциясын көлөмдүү сактагычтарда жогоруда айтылган параметрлерди контролдоо үчүн иштелип чыккан системанын аппараттык- программалык комплексинин натыйжалары келтирилген.

Негизги сөздөр: температура, нымдуулук, маалыматты берүү, сапат.

АЛЬТЕРНАТИВДИК ЭНЕРГЕТИКАДА КОЛДОНУЛУУЧУ ЖАРЫМ ӨТКӨРГҮЧТӨРДҮН МОНОКРИСТАЛДАРЫН ӨСТҮРҮЛДӨГҮ КЭЭ БИР МАСЕЛЕЛЕР / У.Ш. Шукуров, Ш.А. Акчалов, Ш.К. Калысбеков, С.К. Турусбеков.

Монокристаллдарды өстүрүүнүн ыкмаларынын мүмкүнчүлүктөрү каралды. өсүп жаткан монокристаллга туташтырылган электр талаасы белгисине жараша монокристалды аниондук же катиондук кошулма менен легирлөөгө болору көрсөтүлдү.

Негизги создор: Чохральскийдин ыкмасы, эритинди, электр талаасы, жарым өткөргүчтөр жана диэлектриктер, дипольдук момент.

ABSTRAKT

MANAGEMENT, OPTIMIZATION AND STABILIZATION OF DYNAMIC SYSTEMS

ALGORITHM OF STABILIZATION OF HIGH-TEMPERATURE MODES OF OBJECT / *Dj.Sh. Sharshenaliev, T.P. Samokhvalova, L.V. Tretjakova.*

Algorithms of control and stabilisation for lumped parameter system are constructed. Algorithms are based on a method of dynamic programming of R.Bellman and a method of characteristics. Calculations are compared to calculations on L. Pontrjagin's method.

Keywords: optimal control; stabilization; method of characteristics; jumps of value of control.

ANALYSIS OF EXISTING METHODS OF STABILIZATION THE ENERGY FOR HYDROELECTRIC POWER PLANTS / *G.N. Niiazova.*

The main classification of methods of stabilization the energy for micro HPP is consider in the article. Structural schemes, advantages and disadvantages, an analysis of their work features are given. It also describes a method of stabilizing of hydro turbine rotation frequency for low power micro HPP with a self-regulating adaptive flywheel.

Keywords: micro hydroelectric power plants, *method of stabilization of electrical parameters, moment of inertia, adaptive self-regulation flywheel*

PARAMETRIC OPTIMIZATION OF MONTE-CARLO CONTROL ALGORITHMS OF THE METHOD / *R.A. Akmatbekov.*

In the development of automatic control systems, many design tasks for the system are formulated as optimization tasks. The task of selecting the most acceptable values of the parameters of the control algorithm is also formulated as a parametric optimization problem. The problem of parametric optimization of control algorithms in linear one-dimensional systems is considered. A solution of the problem is proposed on the basis of numerical methods of zero order with the use of a random mechanism (the Monte Carlo method).

Key words: mathematical model, control system, algorithm, parametric optimization, one-dimensional system, integral quadratic quality criterion, Monte Carlo method.

SYSTEMS MODELING AND SOFTWARE

METHODS OF OPTIMIZATION 3D GRAPHICS RENDERING ON TILE-BASED GRAPHICSPROCESSORS BY THE EXAMPLE OF A VISUALIZATION MODELING N-BODY GRAVITATIONAL INTERACTIONS / *S.N. Verzunov, D.A. Toksaitov.*

Visualization of physical phenomena such as gravitational interactions of celestial bodies requires rendering a large number of identical 2D and 3D objects. Unfortunately, tile-based deferred architectures of graphical accelerators, popular on the mobile market, are not suitable to process a large number of rendering requests. On such devices, it is necessary to use various optimization techniques to minimize the number of draw calls. In this work, we present implementation of a graphical engine that maintains a tree of state changes for every scene object to allow resubmission of only necessary sets of data to perform rendering. Furthermore, our system minimizes the number of objects to transfer by merging meshes and performing geometry instancing. The system also offloads the data bus by computing and sending only the differences between geometry meshes. The speedup relative to an unoptimized version is demonstrated by measuring the speed of systems to visualize modeling results of gravitational interactions between a large number of celestial bodies.

Keyword: tile-based processors, TBDR architecture, optimization, graphics engine, state update tree, geometry merging, geometry instancing, mesh difference, N-body simulation.

APPLICATION OF THE MICROSERVICE ARCHITECTURE IN DEVELOPING OF THE ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEM SOFTWARE / *D.O. Aveltsov.*

The microservice architecture pattern and its usage in environmental monitoring systems are considered. The system architecture of the automated monitoring system under the microservice approach is given.

Keywords: microservice architecture, monitoring of environmental parameters, automated monitoring systems

PROBLEMS OF MODELING AND MANAGEMENT OF INTELLIGENT ACTIVE-ADAPTIVE NETWORKS / *B.T. Ukuev, B.B. Nazarov.*

The article deals with the issue of the introduction of an intelligent active adaptive network that allows to effectively solve the key tasks related to the effective management of networks and systems, the integration of an intelligent system into the energy infrastructure at the technological and managerial level.

Keywords: intellectual network; active-adaptive network; innovation; power engineering; intellectual energy; intelligent active-adaptive network; smart city.

DEVICES AND SYSTEMS OF AUTOMATION

ANALYSIS OF APPLICATION OF VIDEOMONITORING FACILITIES FOR THE ENVIRONMENTAL SITUATION ON THE BASIS OF UNMILLED APPLIANCES BY THE MINISTRY OF EMERGENCY SITUATIONS OF THE KYRGYZ REPUBLIC / *A.M. Mambetaliev., A.A. Somov.*

The analysis of the use of an unmanned aerial vehicle (UAV) with installed video monitoring tools to solve the problems of video documentation of the places of natural and man-made disasters in the Kyrgyz Republic by the Ministry of Emergencies in the first half of 2017 is conducted. The shortcomings of the organization of information flows during the survey of disaster sites are given. A scheme for optimizing information flows and organizing an information system using a UAV is proposed.

Keywords: videomonitoring, videodocumentation, videostreams, videostreaming, video processing server, video on demand, online video.

SYSTEM OF OPERATIONAL CONTROL OF TECHNICAL CONDITION OF ELECTRICAL CABLES / *I.V. Bochkarev, I.V. Bryakin, M.G. Gunina.*

A new method for diagnosing electric ropes has been developed, intended for magnetic defectoscopy of ferromagnetic elements of ropes, oriented to determine their local defects and losses of the metal section.

Key words: single- and multi wire steel wires, steel-aluminum wires, self-supporting cable, transformer measuring sensor, condenser-type vibrating antenna, transformer and magneto-modulation EMF.

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF AUTOMATIC SYSTEM OF DISTANCE WIRELESS CONTROL OF REGIMES OF INDUSTRIAL PROCESSES ON OBJECTS WITH DISTRIBUTED PARAMETERS / *Dj.Sh. Sharshentaliev, K. Eraliev, B. Ismailov*

We consider issues of Development of Automatic System of Distance Wireless Control of Temperature and Moisture with sending of measurement data of researched object through Mobile Link Channels. There are Results of Development and Realization of Hard and Soft of System that allow controlling Temperature and Moisture in big Storehouse for Agricultural Production for Saving of Quality and Quantity of Production.

Key words: temperature, moisture, broadcast data, quality

SOME ASPECTS OF CULTIVATION SINGLE CRYSTALS OF SEMICONDUCTORS USED IN THE ALTERNATIVE ENERGY / *U.Sh.Shukurov, Sh.A. Akchalov, Sh.K. Kalysbekov, S.K. Turusbekov.*

The possibilities of existing methods of growing single crystals are considered. It is shown that an immersed electric field depending on the polarity will facilitate the alloying of a single crystal mainly by either an anionic or cationic impurity.

Key words. Czochralski method, melt, electric field, semiconductors and dielectrics, dipole moment.

ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИКИ И УПРАВЛЕНИЯ

Научно-технический журнал

Редактор Л.В.Тарасова
Компьютерная верстка В.П. Алексеева

Подписано к печати 19.05.2018 г. Формат 70/108 1/8
Печать офсетная. Объем 9,11 п.л. Тираж 200 экз.

Издательство «Илим»
720071, Бишкек, проспект Чуй, 265-а