

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

**Кафедра электронных средств автоматизации
и управления (ЭСАУ)**

О. И. Черепанов, Р. О. Черепанов, Р. А. Крехтулева

ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ДИАГНОСТИКА СИСТЕМ

Учебное методическое пособие

2016

Корректор: Сарина С. Д.

Черепанов О. И.

Идентификация и диагностика систем : учебное методическое пособие / О. И. Черепанов, Р. О. Черепанов, Р. А. Кректулева. – Томск : ФДО, ТУСУР, 2016. – 198 с.

© Черепанов О. И., Черепанов Р. О.,
Кректулева Р. А., 2016
© ФДО, ТУСУР, 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
1 Идентификация параметров нелинейных стационарных динамических систем методом квазилинеаризации при известных начальных данных	6
1.1 Постановка задачи	6
1.2 Описание метода квазилинеаризации в задачах с известными начальными условиями для переменных состояния.....	9
2 Пример идентификации системы методом квазилинеаризации при известных начальных условиях	18
2.1 Система уравнений с известным аналитическим решением для проверки алгоритма идентификации	18
2.2 Применение метода идентификации параметров при известных начальных данных для решения тестовой задачи	21
2.3 Пример программы идентификации параметров системы при известных начальных данных (FORTRAN).....	29
3 Идентификация начального состояния и параметров нелинейных стационарных динамических систем методом квазилинеаризации.....	57
3.1 Постановка задачи	57
3.2 Описание алгоритма идентификации параметров и начального состояния нелинейных систем методом квазилинеаризации	60
4 Пример применения метода квазилинеаризации для решения задачи идентификации переменных состояния и параметров нелинейной системы.....	69
4.1 Система нелинейных уравнений с известным аналитическим решением для тестирования метода	69
4.2 Применение метода квазилинеаризации для идентификации параметров и начального состояния нелинейной системы: решение тестовой задачи	70

5 Контрольные и лабораторные работы	81
5.1 Контрольная работа № 1. Оценка параметров системы методом максимального правдоподобия	82
5.2 Контрольная работа № 2. Оценка параметров системы методом последовательной идентификации	92
5.3 Лабораторная работа № 1.....	103
5.4 Лабораторная работа № 2.....	106
Литература	198

ПРЕДИСЛОВИЕ

Пособие содержит описание и примеры применения метода квазилинеаризации для идентификации по результатам измерений выходного сигнала $\vec{y}(t)$ параметров динамических систем с нелинейным законом функционирования:

$$\dot{\vec{x}}(t) = \vec{f}(t, \vec{x}(t), \vec{u}(t), \vec{\theta}), \quad t \in (t^{(0)}, T)$$

и алгебраическим уравнением выходов:

$$\vec{y}(t) = C\vec{x}(t).$$

Рассмотрены варианты применения метода квазилинеаризации при известных начальных условиях, когда по результатам измерений выходного сигнала системы с известным алгебраическим уравнением выходов оцениваются параметры $\vec{\theta}$ (коэффициенты дифференциальных уравнений), а также общий алгоритм, с помощью которого оцениваются как начальные условия $\vec{x}(t^{(0)})$, так и параметры уравнений. Описан алгоритм итерационной оценки параметров, основанный на численном интегрировании дифференциальных уравнений метода и сведении задачи к стандартной процедуре метода максимального правдоподобия.

При разработке настоящего пособия использованы результаты, которые приводятся в работах [1–10].

1 ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ НЕЛИНЕЙНЫХ СТАЦИОНАРНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ МЕТОДОМ КВАЗИЛИНЕАРИЗАЦИИ ПРИ ИЗВЕСТНЫХ НАЧАЛЬНЫХ ДАННЫХ

1.1 Постановка задачи

Рассмотрим систему, закон функционирования которой описывается системой обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} \frac{d\vec{x}(t)}{dt} &= \vec{f}(t, \vec{x}(t), \vec{u}(t), \vec{\theta}), \quad t \in [t^{(0)}, T], \\ \vec{x}(t^{(0)}) &= \vec{x}^{(0)}, \end{aligned} \quad (1.1)$$

где $t \in [t^{(0)}, T]$ – контролируемая независимая переменная (например, время); $[t^{(0)}, T]$ – интервал моделирования; $\vec{x} = \vec{x}(t) = \{x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)\}$ – вектор переменных состояния; $\vec{u}(t) = \{u_1(t), \dots, u_l(t)\}$ – вектор управления; $\vec{\theta} = \{\theta_1, \dots, \theta_m\}$ – вектор оцениваемых параметров; $\vec{f}(t, \vec{x}(t), \vec{u}(t), \vec{\theta}) = \{f_1(t, \vec{x}(t), \vec{u}(t), \vec{\theta}), \dots, f_n(t, \vec{x}(t), \vec{u}(t), \vec{\theta})\}$ – известного вида функция всех своих аргументов, в общем случае нелинейная; $\vec{x}(t^{(0)}) = \vec{x}^{(0)}$ – заданный вектор, который определяет начальное состояние системы.

Здесь и далее нижние индексы будем использовать для обозначения номеров компонент векторов или элементов матриц, а верхний индекс, взятый в скобки, – для указания точки на оси времени.

В общем случае система уравнений (1.1) представляет собой систему нелинейных уравнений как относительно переменных состояния $\vec{x}(t)$, так и относительно идентифицируемых параметров $\vec{\theta}$, однако предполагается, что уравнения разрешены относительно производной $\frac{d\vec{x}(t)}{dt}$.

Будем считать, что уравнение выходов моделируемой системы представлено системой линейных алгебраических уравнений:

$$\vec{y}(t) = C\vec{x}(t), \quad (1.2)$$

где $\vec{y}(t) = \{y_1(t), \dots, y_k(t)\}$ – вектор измеряемого выходного сигнала;

$C = \begin{pmatrix} A_{11} & \dots & A_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ A_{k1} & \dots & A_{kn} \end{pmatrix}$ – заданная прямоугольная матрица коэффициентов.

Далее будем исходить из того, что результатом наблюдений за функционированием системы являются измерения значений выходного сигнала $\vec{y}(t^{(j)}) = \vec{y}^{(j)}$ и вектора управления $\vec{u}(t^{(j)}) = \vec{u}^{(j)}$, выполненных в равноотстоящих узлах $t^{(j)} = t^{(0)} + \Delta t(j-1)$, $j = 1, 2, \dots, N$ на оси времени. Тогда для переменных состояния $\vec{x}(t)$ моделируемой системы в соответствии с алгебраическим уравнением выходов (1.2) можно записать следующую систему алгебраических уравнений:

$$Ax^{(j)} = \vec{y}^{(j)}, \quad t^{(j)} = t^{(0)} + \Delta t(j-1), \quad j = 1, 2, \dots, N. \quad (1.3)$$

где $\vec{y}^{(j)}$, $j = 1, 2, \dots, N$ – измеренное значение выходного сигнала в общей серии длиной N измерений, а верхний индекс, который указывает на номер момента времени измерений, взят в скобки, чтобы отличать его от номера компонент вектора, а затем и от номера итерации.

Для упрощения здесь принято, что измерения выполнялись в равноотстоящих узлах $t^{(j)} = t^{(0)} + \Delta t(j-1) \in [t^{(0)}, T]$, $j = 1, 2, \dots, N$ на оси времени, и при этом шаг Δt достаточно мал. Выполнение этого условия не обязательно, но если оно не выполняется, то в последующем может потребоваться дополнительная процедура совмещения узлов, в которых выполняются измерения выходного сигнала и методом квазилинеаризации находят значения переменных состояния.

Изучаемую систему будем считать стационарной, по крайней мере в течение времени идентификации. На этом основании для идентифицируемых параметров дополнительно записывают следующую систему обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\frac{d\vec{\theta}}{dt} = 0. \quad (1.4)$$

Решение системы (1.1) должно удовлетворять начальным условиям вида:

$$\vec{x}(t^{(0)}) = \vec{x}^{(0)}, \quad (1.5)$$

Задача идентификации параметров моделируемой системы заключается в том, чтобы найти векторы переменных состояния $\vec{x}(t)$ и коэффициентов модели $\vec{\theta}$, которые удовлетворяют системам дифференциальных уравнений (1.1), (1.4), начальным условиям (1.5), а также уравнению выходов (1.3). Предполагается, что при известных значениях параметров $\vec{\theta}$ начальным условиям (1.5) соответствует единственное решение системы (1.1). Следует подчеркнуть, в рассматриваемом случае начальное состояние системы считается известным, что несколько упрощает задачу.

Приведенные уравнения представляют собой математическое выражение априорно принятой гипотезы о внутреннем устройстве реальной системы, которая является результатом первого этапа идентификации. На этом этапе установлено, что входное воздействие описывается измеряемой функцией $\vec{u}(t)$, состояние системы описывается вектором $\vec{x}(t)$, принято предположение о том, что система стационарна, по крайней мере в течение времени идентификации $T - t_0$, а также принято допущение, что изучаемая система (устройство) может быть описана системой обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка с постоянными коэффициентами. Результатом этого исследования и является математическое оформление гипотезы в виде уравнений (1.1)–(1.5).

Одним из методов решения задач идентификации таких систем является метод квазилинеаризации [1–3].

1.2 Описание метода квазилинеаризации в задачах с известными начальными условиями для переменных состояния

Решение задачи идентификации параметров нелинейных систем с законом функционирования вида (1.1) методом квазилинеаризации [1–3] сводится к следующей итерационной процедуре уточнения решения.

1. На первом этапе решения должна быть каким-либо образом задана начальная оценка коэффициентов модели, в качестве которой зачастую за неимением лучшего берется нулевая оценка:

$$\bar{\theta}^0 = \bar{\theta}^{In}, \quad (\bar{\theta}^0 = 0). \quad (1.6)$$

Точно так же должна быть задана (найдена) соответствующая этим значениям параметров $\bar{\theta}^0 = \bar{\theta}^{In}$ начальная оценка вектора переменных состояния $\bar{x}^0(t)$, т. е. приближенное решение системы (1.1):

$$\bar{x}^0(t) = \bar{x}^{In}(t), \quad (\bar{x}^0(t) = \bar{x}^{(0)}). \quad (1.7)$$

Здесь и далее верхний индекс без скобок означает номер итерации, а величины $\bar{\theta}^{In}$, $\bar{x}^{In}(t)$ – заданные векторы.

При выборе начальных оценок параметров $\bar{\theta}^0$ и переменных состояния $\bar{x}^0(t)$ требуется учитывать, что сходимость метода существенно зависит от выбора начального приближения. Более того, неудачный выбор начальной оценки (например, $\bar{\theta}^0 = 0$) в конкретных задачах может привести к тому, что на первом же шаге задача сведется к системе линейно зависимых алгебраических уравнений. Однако такие варианты развития событий легко предугадываются при приобретении минимального опыта решения конкретных задач. Выбор начальной оценки для вектора переменных

состояния $\vec{x}^0(t)$ целесообразно осуществлять следующим образом. Если принята нулевая начальная оценка коэффициентов $\vec{\theta}^0 = 0$, то, как правило, легко находится соответствующее аналитическое решение $\vec{x}^{ln}(t)$ системы (1.1), которое и следует быть в качестве начальной оценки $\vec{x}^0(t)$ вектора переменных состояния. В простейшем случае можно в качестве начальной оценки вектора переменных состояния задавать известные по условиям задачи начальные значения $\vec{x}^0(t) = \vec{x}^{(0)}$.

2. Теперь рассмотрим общий случай, когда найдено некоторое приближение к решению $\vec{\theta}^s$ и $\vec{x}^s(t)$ с номером (s) . Напомним, что здесь и далее верхний индекс без скобок используется как указатель номера приближения (шага итерационного процесса) в процессе уточнения значения искомых величин. Разлагая правую часть уравнения (1.1) в ряд Тейлора в окрестности этого состояния, от системы (1.1) приходим к системе уравнений:

$$\frac{d\vec{x}^{s+1}}{dt} = \left(\frac{\partial f_i}{\partial x_p} \right)^s \vec{x}^{s+1} + \left(\frac{\partial f_i}{\partial \theta_q} \right)^s \vec{\theta}^{s+1} + \vec{f}^s - \left(\frac{\partial f_i}{\partial x_p} \right)^s \vec{x}^s - \left(\frac{\partial f_i}{\partial \theta_q} \right)^s \vec{\theta}^s, \quad (1.8)$$

$$i, p = 1, \dots, n; q = 1, \dots, m; s = 1, \dots, N_s.$$

Чтобы не загромождать запись ненужными деталями, здесь опущены аргументы всех определенных ранее функций, а символом N_s обозначено максимальное количество итераций, которое обычно задается в качестве дополнительного критерия для прекращения процесса уточнения оценок во избежание «зацикливания».

В развернутой записи матрицы коэффициентов этой системы имеют вид:

$$\left(\frac{\partial f_i}{\partial x_p}\right)^s = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{pmatrix}^s, \quad \left(\frac{\partial f_i}{\partial \theta_q}\right)^s = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial \theta_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial \theta_m} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_n}{\partial \theta_1} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial \theta_m} \end{pmatrix}^s. \quad (1.9)$$

Начальные условия для системы (1.8) в соответствии с условиями (1.5) записываются в виде:

$$\vec{x}^{s+1}(t^{(0)}) = \vec{x}^{(0)}. \quad (1.10)$$

Уравнение выходов на каждом шаге итерационного процесса записывается в виде:

$$A\vec{x}^{s+1}(t^{(j)}) = \vec{y}^{(j)}, \quad t^{(j)} = t^{(0)} + \Delta t(j-1), \quad j = 1, \dots, N. \quad (1.11)$$

3. Следующим важным шагом в реализации алгоритма расчета является то, что решение системы уравнений (1.8) по аналогии с методом вариации произвольных постоянных будем искать в виде:

$$\vec{x}^{s+1}(t) = \vec{x}^{s+1} = G(t)\vec{\theta}^{s+1} + \vec{D}(t), \quad (1.12)$$

где $G(t) = \begin{pmatrix} G_{11}(t) & \dots & G_{1m}(t) \\ \dots & \dots & \dots \\ G_{n1}(t) & \dots & G_{nm}(t) \end{pmatrix}$ – матрица неизвестных пока функций-

коэффициентов, которая соответствует общему решению однородной системы, а $\vec{D}(t) = \{D_1(t), \dots, D_n(t)\} = \vec{D} = \{D_1, \dots, D_n\}$ – вектор частного решения (тоже пока неизвестный) неоднородной системы уравнений (1.8). Теперь необходимо получить уравнения, из которых могут быть найдены матрица $G(t)$ и вектор $\vec{D}(t)$ на каждом шаге итерационного процесса, а значит и решение вида (1.12).

С этой целью подставим выражение (1.12) в уравнение (1.8), получаем:

$$\begin{aligned} \frac{d(G(t)\bar{\theta}^{s+1} + \bar{D}(t))}{dt} &= \left(\frac{\partial f_i}{\partial x_p}\right)^s (G(t)\bar{\theta}^{s+1} + \bar{D}(t)) + \left(\frac{\partial f_i}{\partial \theta_q}\right)^s \bar{\theta}^{s+1} + \\ &+ \bar{f}^s - \left(\frac{\partial f_i}{\partial x_p}\right)^s \bar{x}^s - \left(\frac{\partial f_i}{\partial \theta_q}\right)^s \bar{\theta}^s, \quad i, p = 1, 2, \dots, n, \quad q = 1, 2, \dots, m. \end{aligned} \quad (1.13)$$

Учитывая, что система считается стационарной, т. е. $\frac{d\bar{\theta}}{dt} = 0$, получа-

ем далее:

$$\begin{aligned} \frac{dG(t)}{dt} \bar{\theta}^{s+1} + \frac{d\bar{D}(t)}{dt} &= \\ = \left[\left(\frac{\partial f_i}{\partial x_p}\right)^s G(t) + \left(\frac{\partial f_i}{\partial \theta_q}\right)^s \right] \bar{\theta}^{s+1} &+ \left(\frac{\partial f_i}{\partial x_p}\right)^s \bar{D}(t) + \bar{f}^s - \left(\frac{\partial f_i}{\partial x_p}\right)^s \bar{x}^s - \left(\frac{\partial f_i}{\partial \theta_q}\right)^s \bar{\theta}^s. \end{aligned}$$

Теперь, приравнявая коэффициенты в этих уравнениях при величине $\bar{\theta}^{s+1}$ в первой степени и нулевой соответственно, получим систему уравнений относительно неизвестных элементов матрицы $G(t)$ и компонент вектора $\bar{D}(t)$:

$$\frac{dG(t)}{dt} = \left(\frac{\partial f_i}{\partial x_p}\right)^s G(t) + \left(\frac{\partial f_i}{\partial \theta_q}\right)^s, \quad (1.14)$$

$$\frac{d\bar{D}(t)}{dt} = \left(\frac{\partial f_i}{\partial x_p}\right)^s \bar{D}(t) + \bar{f}^s - \left(\frac{\partial f_i}{\partial x_p}\right)^s \bar{x}^s - \left(\frac{\partial f_i}{\partial \theta_q}\right)^s \bar{\theta}^s. \quad (1.15)$$

Подчеркнем, что все величины, отмеченные индексом (s) , в этих уравнениях известны с предыдущего шага итерационного процесса.

Необходимые для решения уравнений (1.14), (1.15) начальные условия задаются следующим образом. В соответствии с условиями (1.5) для очередной оценки вектора переменных состояния должно выполняться равенство:

$$\begin{aligned}\bar{x}^{s+1}(t^{(0)}) &= \bar{x}^{(0)}, \\ \bar{x}^{s+1}(t^{(0)}) &= G(t^{(0)})\bar{\theta}^{s+1} + \bar{D}(t^{(0)}) = \bar{x}^{(0)}.\end{aligned}\tag{1.16}$$

Отсюда следует, что системы уравнений (1.14), (1.15) могут быть решены при начальных условиях вида:

$$G(t^{(0)}) = 0,\tag{1.17}$$

$$\bar{D}(t^{(0)}) = \bar{x}^{(0)}.\tag{1.18}$$

Решение уравнений (1.14), (1.15) при начальных условиях (1.17), (1.18) можно получить численными методами. В простейшем случае можно воспользоваться схемой Эйлера, схемой с пересчетом, схемами Рунге – Кутты повышенного порядка точности (см., например, [4, 7]). Будем считать, что каким-либо из перечисленных методов найдено решение уравнений (1.14), (1.15) при начальных условиях (1.17), (1.18) и это решение найдено в тех же узлах $t^{(j)} \in [t^{(0)}, T]$, $t^{(j)} = t^{(0)} + \Delta t(j-1)$, $j = 1, \dots, N$, в которых выполнены измерения выходного сигнала. Это значит, что на очередном шаге итерационного процесса известны значения матрицы $G(t^{(j)})$ и вектора $\bar{D}(t^{(j)})$, $t^{(j)} \in [t^{(0)}, T]$, $t^{(j)} = t^{(0)} + \Delta t(j-1)$, $j = 1, 2, \dots, N$. Это позволяет записать выражение (1.12) для вектора переменных состояния через неизвестную оценку коэффициентов $\bar{\theta}^{s+1}$ в виде:

$$\bar{x}^{s+1}(t^{(j)}) = G(t^{(j)})\bar{\theta}^{s+1} + \bar{D}(t^{(j)}), t^{(j)} = t^{(0)} + \Delta t(j-1), j = 1, 2, \dots, N.\tag{1.19}$$

Как уже отмечалось, здесь для упрощения принято, что величины $G(t^{(j)})$ и $\bar{D}(t^{(j)})$ найдены в равноотстоящих узлах $t^{(j)} \in [t^{(0)}, T]$, $t_j = t^{(0)} + \Delta t(j-1)$, $j = 1, 2, \dots, N$ на оси времени, которые совпадают с моментами времени, в которые выполнялись измерения выходного сигнала. Выполнение этого условия не обязательно, но если это не так, то может потребоваться дополнительная процедура совмещения узлов, в которых

выполняются измерения выходного сигнала и найдены значения $G(t^{(j)})$ и вектора $\vec{D}(t^{(j)})$.

По завершении этого этапа вычислений в формуле (1.12) для оценки значений вектора переменных состояния в точках $t^{(j)}$ остается неизвестной только уточненная оценка параметров $\vec{\theta}^{s+1}$.

4. Следующим шагом решения задачи идентификации является подстановка выражения решения (1.19) в уравнения (1.3), которая для каждой экспериментальной точки $t^{(j)}$ приводит к следующим системам линейных алгебраических уравнений относительно оцениваемых параметров $\vec{\theta}^{s+1}$:

$$\begin{aligned} C\vec{x}(t^{(j)}) &= \vec{y}^{(j)}, \quad j = 1, 2, \dots, N, \\ (CG(t^{(j)}))\vec{\theta}^{s+1} &= \vec{y}^{(j)} - C\vec{D}(t^{(j)}) = \vec{Y}^{(j)}. \end{aligned} \quad (1.20)$$

Введем следующие обозначения:

$$\begin{aligned} \vec{Y}^{(j)} &= \vec{y}^{(j)} - C\vec{D}(t^{(j)}) = \{Y_1^{(j)}, Y_2^{(j)}, \dots, Y_k^{(j)}\}, \\ F^{(j)} &= CG(t^{(j)}) = \begin{pmatrix} C_{11} & \dots & C_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ C_{k1} & \dots & C_{kn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} G_{11}(t^{(j)}) & \dots & G_{1m}(t^{(j)}) \\ \dots & \dots & \dots \\ G_{n1}(t^{(j)}) & \dots & G_{nm}(t^{(j)}) \end{pmatrix} = \\ &= \begin{pmatrix} F_{11}^{(j)} & \dots & F_{1m}^{(j)} \\ \dots & \dots & \dots \\ F_{k1}^{(j)} & \dots & F_{km}^{(j)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{q=1}^n C_{1q} G_{q1}(t^{(j)}) & \dots & \sum_{q=1}^n C_{1q} G_{qm}(t^{(j)}) \\ \dots & \dots & \dots \\ \sum_{q=1}^n C_{kq} G_{q1}(t^{(j)}) & \dots & \sum_{q=1}^n C_{kq} G_{qm}(t^{(j)}) \end{pmatrix}. \end{aligned} \quad (1.21)$$

С учетом этих обозначений уравнения (1.20) запишем в виде:

$$F^{(j)}\vec{\theta}^{s+1} = \vec{Y}^{(j)}, \quad j = 1, 2, \dots, N. \quad (1.22)$$

Таким образом, задача получения уточненной оценки коэффициентов модели $\vec{\theta}^{s+1}$ на очередном шаге итерационного процесса свелась к решению системы линейных алгебраических уравнений (1.22) для каждой

точки на оси времени, в которой выполнялись измерения выходного сигнала.

5. Для получения этой оценки воспользуемся идеями метода наименьших квадратов [1–3], т. е. рассмотрим задачу поиска минимума функционала вида:

$$\sum_{j=1}^N \left((\vec{Y}^{(j)} - F^{(j)} \vec{\theta}^{s+1}), (\vec{Y}^{(j)} - F^{(j)} \vec{\theta}^{s+1}) \right) = J(\vec{\theta}^{s+1}) \rightarrow \min \Rightarrow \delta J(\vec{\theta}^{s+1}) = 0. \quad (1.23)$$

Величина $J(\vec{\theta}^{s+1})$ представляет собой меру среднеквадратического отклонения между теоретической и экспериментальной оценками выходного сигнала по всей совокупности экспериментальных данных.

Необходимое условие экстремума этого функционала $\delta J(\vec{\theta}^{s+1}) = 0$ приводит к следующей системе линейных алгебраических уравнений относительно искомой оценки $\vec{\theta}^{s+1}$:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \theta_r^{s+1}} \sum_{j=1}^N \sum_{p=1}^k \left(Y_p^{(j)} - \sum_{q=1}^m F_{pq}^{(j)} \theta_q^{s+1} \right) \left(Y_p^{(j)} - \sum_{q=1}^m F_{pq}^{(j)} \theta_q^{s+1} \right) &= 0, \quad r = 1, 2, \dots, m, \Rightarrow \\ \sum_{j=1}^N \sum_{p=1}^k \left(Y_p^{(j)} - \sum_{q=1}^m F_{pq}^{(j)} \theta_q^{s+1} \right) \frac{\partial}{\partial \theta_r^{s+1}} \left(Y_p^{(j)} - \sum_{q=1}^m F_{pq}^{(j)} \theta_q^{s+1} \right) &= 0 \Rightarrow \\ \sum_{j=1}^N \sum_{p=1}^k \left(Y_p^{(j)} - \sum_{q=1}^m F_{pq}^{(j)} \theta_q^{s+1} \right) \left(\frac{\partial}{\partial \theta_r^{s+1}} \sum_{q=1}^m F_{pq}^{(j)} \theta_q^{s+1} \right) &= 0 \Rightarrow \quad (1.24) \\ \sum_{j=1}^N \sum_{p=1}^k \left(Y_p^{(j)} - \sum_{q=1}^m F_{pq}^{(j)} \theta_q^{s+1} \right) F_{pr}^{(j)} &= 0 \Rightarrow \\ \sum_{q=1}^m \left(\sum_{p=1}^k \sum_{j=1}^N F_{pq}^{(j)} F_{pr}^{(j)} \right) \theta_q^{s+1} &= \sum_{p=1}^k \sum_{j=1}^N F_{pr}^{(j)} Y_p^{(j)}. \end{aligned}$$

Таким образом, система уравнений для получения наилучшей линейной несмещенной оценки коэффициентов модели на очередном шаге итерационного процесса имеет в нашем случае следующий вид:

$$M \vec{\theta}^{s+1} = \vec{Y}, \quad (1.25)$$

где M – квадратная симметричная относительно главной диагонали матрица размера $m \times m$ (информационная матрица), $\vec{Y} = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_m\}$ – вектор правых частей системы уравнений (1.25), которую в теории планирования экспериментов называют ещё канонической системой.

Элементы информационной матрицы M и компоненты вектора \vec{Y} вычисляются по формулам:

$$M_{qr} = M_{rq} = \sum_{p=1}^k \sum_{j=1}^N F_{pq}^{(j)} F_{pr}^{(j)}, \quad Y_r = \sum_{p=1}^k \sum_{j=1}^N F_{pr}^{(j)} Y_p^{(j)}, \quad q, r = 1, 2, \dots, m. \quad (1.26)$$

Система уравнений (1.25) теперь может быть решена одним из известных методов решения такого рода уравнений, в частности методом последовательного исключения Гаусса, методом последовательной регрессии [1] или каким-либо другим.

Запишем каким-либо образом найденное решение этой системы в виде:

$$\tilde{\theta}^{s+1} = M^{-1} \vec{Y}. \quad (1.27)$$

Здесь волна сверху указывает на тот факт, что полученная оценка, кроме всего прочего, является осредненной оценкой по результатам экспериментов, содержащих по крайней мере случайные погрешности измерений.

6. Завершающий этап решения задачи идентификации рассматриваемым методом заключается в проверке условия достижения наперед заданной точности решения. Оценивая разницу между двумя последовательными приближениями $\tilde{\theta}^s$ и $\tilde{\theta}^{s+1}$ значений коэффициентов, необходимо принять решение либо о продолжении итерационной процедуры уточнения, повторяя её со второго этапа, либо прекратить уточнение при достижении наперед заданной точности решения. В качестве критерия прекращения итераций можно использовать, например, выполнение условия:

$$\sqrt{\frac{\left((\bar{\theta}^{s+1} - \bar{\theta}^s), (\bar{\theta}^{s+1} - \bar{\theta}^s) \right)}{(\bar{\theta}^{s+1}, \bar{\theta}^{s+1})}} \leq \varepsilon, \quad (1.28)$$

где ε – наперед заданная характеристика точности решения.

Аналогичным образом целесообразно сравнивать между собой два ближайших приближения к оценке вектора переменных состояния по формуле (1.12), а также информационные матрицы (1.26).

Как правило, кроме критерия вида (1.28) итерационные процедуры дополняют некоторыми «разумными» ограничениями:

$$s \leq N_s \quad (1.29)$$

на максимальное число итераций N_s , превышение которого чаще всего означает, что при реализации метода допущена ошибка либо выбрано негодное начальное приближение.

При выполнении условия вида (1.28) можно принять, что рассматриваемая задача идентификации параметров и состояния нелинейной системы методом квазилинеаризации решена, а значит, построена нелинейная модель системы вида (1.1). Конечно, нельзя забывать, что эта модель должна ещё пройти проверку на адекватность, но это уже другая проблема.

2 ПРИМЕР ИДЕНТИФИКАЦИИ СИСТЕМЫ МЕТОДОМ КВАЗИЛИНЕАРИЗАЦИИ ПРИ ИЗВЕСТНЫХ НАЧАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

2.1 Система уравнений с известным аналитическим решением для проверки алгоритма идентификации

Рассмотрим пример применения метода в задаче с заведомо известным решением. В качестве заданной системы уравнений для проверки алгоритма идентификации методом квазилинеаризации рассмотрим систему из двух дифференциальных уравнений первого порядка:

$$\begin{cases} \frac{dx_1(t)}{dt} = x_2(t), \\ \frac{dx_2(t)}{dt} = -x_1(t) - x_2(t) + \cos t, \end{cases} \quad \begin{cases} \frac{dx_1(t)}{dt} = +0 \times x_1(t) + 1 \times x_2(t) + 0 \times u_1(t), \\ \frac{dx_2(t)}{dt} = -1 \times x_1(t) - 1 \times x_2(t) + 1 \times u_2(t). \end{cases} \quad (2.1)$$

Начальные условия зададим в виде:

$$x_1(0) = \frac{3}{2}, \quad x_2(0) = 1. \quad (2.2)$$

Рассмотрим случай, когда входной сигнал задан в виде:

$$u_1(t) = u_2(t) = \cos t. \quad (2.3)$$

Соответствующее такому входному сигналу и начальным условиям решение уравнений (2.1) имеет вид:

$$\begin{aligned} x_1(t) &= e^{-\frac{1}{2}t} \left(\frac{3}{2} \cos \frac{\sqrt{3}}{2}t + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \frac{\sqrt{3}}{2}t \right) + \sin t, \\ x_2(t) &= -e^{-\frac{1}{2}t} \sqrt{3} \sin \frac{\sqrt{3}}{2}t + \cos t. \end{aligned} \quad (2.4)$$

Далее приведенную систему уравнений и её решение будем рассматривать как тестовый пример для изучения и отладки алгоритма идентификации систем методом квазилинеаризации. Будем считать, что по результатам

измерений выходного сигнала требуется методом квазилинеаризации идентифицировать следующую систему:

$$\begin{cases} \frac{dx_1(t)}{dt} = \theta_1 x_2(t), \\ \frac{dx_2(t)}{dt} = \theta_2 x_1(t) + \theta_3 x_2(t) + \cos(t). \end{cases} \quad (2.5)$$

Пусть измеряемый выходной сигнал системы связан с переменными состояния следующим уравнением выходов:

$$\begin{aligned} \vec{y}(t) &= C\vec{x}(t), \\ \vec{y}(t) &= \{y_1(t), y_2(t)\}, \quad C = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 1 \end{pmatrix}. \end{aligned} \quad (2.6)$$

Систему уравнений (2.5) запишем в следующей форме:

$$\begin{cases} \frac{d\vec{x}(t)}{dt} = \vec{f}(t, \vec{x}, \vec{u}, \vec{\theta}), \quad \vec{x} = \{x_1, x_2\}, \quad \vec{\theta} = \{\theta_1, \theta_2, \theta_3\}, \\ \vec{f}(t, \vec{x}, \vec{u}, \vec{\theta}) = \{f_1(t, \vec{x}, \vec{u}, \vec{\theta}), f_2(t, \vec{x}, \vec{u}, \vec{\theta})\}, \end{cases} \Rightarrow \quad (2.7)$$

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = f_1(t, \vec{x}, \vec{u}, \vec{\theta}), \\ \frac{dx_2}{dt} = f_2(t, \vec{x}, \vec{u}, \vec{\theta}). \end{cases}$$

Векторная функция $\vec{f}(t, \vec{x}, \vec{u}, \vec{\theta})$ в правой части системы (2.7), которая в общем случае является известного вида нелинейной функцией всех своих аргументов, в рассматриваемом примере определена формулами:

$$\begin{cases} f_1(t, \vec{x}, \vec{u}, \vec{\theta}) = \theta_1 x_2, \\ f_2(t, \vec{x}, \vec{u}, \vec{\theta}) = \theta_2 x_1 + \theta_3 x_2 + \cos(t). \end{cases} \quad (2.8)$$

Таким образом, рассматриваем систему уравнений (2.7), которая в соответствии с принятой нами гипотезой описывает закон функционирования изучаемого объекта, а уравнение выходов этой системы имеет вид (2.6).

Рассмотрим вариант решения задачи идентификации, когда измерения выходного сигнала проводились в равноотстоящих узлах на оси времени:

$$t^{(j)} \in [0, T], t^{(0)} = 0, t^{(N)} = T = \pi,$$

$$t^{(j)} = t^{(0)} + \pi \frac{(j-1)}{(N-1)}, j = 1, \dots, N; N = 31. \quad (2.9)$$

Напомним, что начальные условия вида (2.2) при идентификации системы считаем известными.

В соответствии с уравнением выходов формула для выходного сигнала имеет вид:

$$y_1 = x_1 + 2x_2 \Rightarrow y_1 = \frac{3}{2} e^{-\frac{1}{2}t} \left[\cos \frac{\sqrt{3}}{2} t - \sqrt{3} \sin \frac{\sqrt{3}}{2} t \right] + \sin t + 2 \cos t, \quad (2.10)$$

$$y_2 = 2x_1 + x_2 \Rightarrow y_2 = 3e^{-\frac{1}{2}t} \cos \frac{\sqrt{3}}{2} t + 2 \sin t + \cos t.$$

Рассчитанные по этим формулам значения компонент вектора переменных состояния, выходного и управляющего сигналов приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Значения компонент вектора переменных состояния и управляющего сигнала

j	Время $t^{(j)}$	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$y_1(t)$	$y_2(t)$	$u_1(t) = u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.1500E+01	0.1000E+01	0.3500E+01	0.4000E+01	0.1000E+01
2	0.1047E+00	0.1597E+01	0.8457E+00	0.3288E+01	0.4039E+01	0.9945E+00
3	0.2094E+00	0.1677E+01	0.6968E+00	0.3071E+01	0.4051E+01	0.9781E+00
4	0.3142E+00	0.1743E+01	0.5533E+00	0.2849E+01	0.4039E+01	0.9511E+00
5	0.4189E+00	0.1793E+01	0.4151E+00	0.2623E+01	0.4002E+01	0.9135E+00
6	0.5236E+00	0.1830E+01	0.2820E+00	0.2394E+01	0.3942E+01	0.8660E+00
7	0.6283E+00	0.1853E+01	0.1541E+00	0.2161E+01	0.3859E+01	0.8090E+00
8	0.7330E+00	0.1862E+01	0.3116E-01	0.1925E+01	0.3756E+01	0.7431E+00
9	0.8378E+00	0.1859E+01	-0.8683E-01	0.1686E+01	0.3632E+01	0.6691E+00
10	0.9425E+00	0.1844E+01	-0.1999E+00	0.1444E+01	0.3489E+01	0.5878E+00
11	0.1047E+01	0.1818E+01	-0.3081E+00	0.1201E+01	0.3327E+01	0.5000E+00
12	0.1152E+01	0.1780E+01	-0.4113E+00	0.9572E+00	0.3148E+01	0.4067E+00
13	0.1257E+01	0.1732E+01	-0.5095E+00	0.7126E+00	0.2954E+01	0.3090E+00
14	0.1361E+01	0.1673E+01	-0.6025E+00	0.4683E+00	0.2744E+01	0.2079E+00
15	0.1466E+01	0.1606E+01	-0.6902E+00	0.2253E+00	0.2521E+01	0.1045E+00
16	0.1571E+01	0.1529E+01	-0.7723E+00	-0.1556E-01	0.2286E+01	0.7550E-07

Окончание табл. 2.1

j	Время $t^{(j)}$	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$y_1(t)$	$y_2(t)$	$u_1(t) = u_2(t)$
17	0.1676E+01	0.1444E+01	-0.8486E+00	-0.2531E+00	0.2040E+01	-0.1045E+00
18	0.1780E+01	0.1351E+01	-0.9188E+00	-0.4861E+00	0.1784E+01	-0.2079E+00
19	0.1885E+01	0.1252E+01	-0.9826E+00	-0.7134E+00	0.1521E+01	-0.3090E+00
20	0.1990E+01	0.1146E+01	-0.1040E+01	-0.9337E+00	0.1252E+01	-0.4067E+00
21	0.2094E+01	0.1034E+01	-0.1090E+01	-0.1146E+01	0.9787E+00	-0.5000E+00
22	0.2199E+01	0.9179E+00	-0.1133E+01	-0.1348E+01	0.7030E+00	-0.5878E+00
23	0.2304E+01	0.7974E+00	-0.1168E+01	-0.1539E+01	0.4268E+00	-0.6691E+00
24	0.2409E+01	0.6736E+00	-0.1195E+01	-0.1717E+01	0.1519E+00	-0.7431E+00
25	0.2513E+01	0.5473E+00	-0.1214E+01	-0.1881E+01	-0.1196E+00	-0.8090E+00
26	0.2618E+01	0.4195E+00	-0.1225E+01	-0.2030E+01	-0.3858E+00	-0.8660E+00
27	0.2723E+01	0.2911E+00	-0.1227E+01	-0.2163E+01	-0.6447E+00	-0.9135E+00
28	0.2827E+01	0.1629E+00	-0.1220E+01	-0.2278E+01	-0.8944E+00	-0.9511E+00
29	0.2932E+01	0.3584E-01	-0.1205E+01	-0.2373E+01	-0.1133E+01	-0.9781E+00
30	0.3037E+01	-0.8911E-01	-0.1180E+01	-0.2450E+01	-0.1358E+01	-0.9945E+00
31	0.3142E+01	-0.2110E+00	-0.1147E+01	-0.2505E+01	-0.1569E+01	-0.1000E+01

2.2 Применение метода идентификации параметров при известных начальных данных для решения тестовой задачи

Теперь рассмотрим следующую задачу. По результатам измерений входного $\vec{u}(t^{(j)})$ и выходного сигнала $\vec{y}(t^{(j)})$, приведенным в табл. 2.1, найти методом квазилинеаризации неизвестные коэффициенты $\vec{\theta} = \{\theta_1, \theta_2, \theta_3\}$ уравнений (2.5) при заданном уравнении выходов (2.6) и начальных условиях (2.2). По этим данным требуется рассчитать значения переменных состояния для сравнения с известным точным решением, также приведенным в табл. 2.1.

Ясно, что точное решение задачи идентификации параметров системы (2.5) в этом примере таково:

$$\vec{\theta} = \{\theta_1, \theta_2, \theta_3\} = \{1, -1, -1\}. \quad (2.11)$$

Рассмотрим последовательность шагов по применению метода квазилинеаризации в этом примере.

1. На первом этапе решения задачи должна быть каким-либо образом задана начальная оценка коэффициентов модели. За неимением лучшего положим:

$$\bar{\theta}^0 = 0. \quad (2.12)$$

Соответствующая этим значениям параметров $\bar{\theta}^0 = 0$ начальная оценка вектора переменных состояния $\bar{x}^0(t)$, т. е. решение системы (2.5), удовлетворяющее начальным условиям, имеет вид:

$$\begin{cases} x_1^0(t^{(j)}) = 3/2, \\ x_2^0(t^{(j)}) = 1 + \sin(t^{(j)}), \quad j = 1, 2, \dots, N. \end{cases} \quad (2.13)$$

Верхний индекс без скобок здесь и далее используется для указания номера итерации в процессе уточнения оценки коэффициентов модели. Верхний индекс, взятый в скобки, указывает номер момента времени.

2. Линеаризуем систему уравнений (2.5) в окрестности некоторого известного состояния с номером (s) , разлагая правые части этих уравнений в ряд Тейлора. В результате получаем уравнения:

$$\begin{cases} \frac{dx_1^{s+1}}{dt} = \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_1}\right)^s x_1^{s+1} + \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_2}\right)^s x_2^{s+1} + \left(\frac{\partial f_1}{\partial \theta_1}\right)^s \theta_1^{s+1} + \left(\frac{\partial f_1}{\partial \theta_2}\right)^s \theta_2^{s+1} + \left(\frac{\partial f_1}{\partial \theta_3}\right)^s \theta_3^{s+1} + \\ + (f_1)^s - \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_1}\right)^s x_1^s - \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_2}\right)^s x_2^s - \left(\frac{\partial f_1}{\partial \theta_1}\right)^s \theta_1^s - \left(\frac{\partial f_1}{\partial \theta_2}\right)^s \theta_2^s - \left(\frac{\partial f_1}{\partial \theta_3}\right)^s \theta_3^s, \\ \frac{dx_2^{s+1}}{dt} = \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_1}\right)^s x_1^{s+1} + \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_2}\right)^s x_2^{s+1} + \left(\frac{\partial f_2}{\partial \theta_1}\right)^s \theta_1^{s+1} + \left(\frac{\partial f_2}{\partial \theta_2}\right)^s \theta_2^{s+1} + \left(\frac{\partial f_2}{\partial \theta_3}\right)^s \theta_3^{s+1} + \\ + (f_2)^s - \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_1}\right)^s x_1^s - \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_2}\right)^s x_2^s - \left(\frac{\partial f_2}{\partial \theta_1}\right)^s \theta_1^s - \left(\frac{\partial f_2}{\partial \theta_2}\right)^s \theta_2^s - \left(\frac{\partial f_2}{\partial \theta_3}\right)^s \theta_3^s. \end{cases} \quad (2.14)$$

Для правых частей уравнений (2.5) имеют место выражения:

$$\begin{cases} f_1(t, \bar{x}, \bar{\theta}) = \theta_1 x_2, \quad \bar{x} = \{x_1, x_2\}, \\ f_2(t, \bar{x}, \bar{\theta}) = \theta_2 x_1 + \theta_3 x_2 + \cos(t), \quad \bar{\theta} = \{\theta_1, \theta_2, \theta_3\}. \end{cases} \quad (2.15)$$

Учитывая эти выражения, уравнения (2.14) запишем в форме:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx_1^{s+1}}{dt} = (0)^s x_1^{s+1} + (\theta_1)^s x_2^{s+1} + (x_2)^s \theta_1^{s+1} + (0)^s \theta_2^{s+1} + (0)^s \theta_3^{s+1} + \\ + (\theta_1 x_2)^s - (0)^s x_1^s - (\theta_1)^s x_2^s - (x_2)^s \theta_1^s - (0)^s \theta_2^s - (0)^s \theta_3^s, \\ \frac{dx_2^{s+1}}{dt} = (\theta_2)^s x_1^{s+1} + (\theta_3)^s x_2^{s+1} + (0)^s \theta_1^{s+1} + (x_1)^s \theta_2^{s+1} + (x_2)^s \theta_3^{s+1} + \\ + (\theta_2 x_1 + \theta_3 x_2)^s + \cos(t) - (\theta_2)^s x_1^s - (\theta_3)^s x_2^s - (0)^s \theta_1^s - (x_1)^s \theta_2^s - (x_2)^s \theta_3^s. \end{array} \right. \quad (2.16)$$

Эти уравнения можно записать и в матричной форме:

$$\begin{aligned} \frac{d\vec{x}^{s+1}}{dt} &= \left(\frac{\partial f_i}{\partial x_p} \right)^s \vec{x}^{s+1} + \left(\frac{\partial f_i}{\partial \theta_q} \right)^s \vec{\theta}^{s+1} + (\vec{f})^s - \left(\frac{\partial f_i}{\partial x_p} \right)^s \vec{x}^s - \left(\frac{\partial f_i}{\partial \theta_q} \right)^s \vec{\theta}^s, \\ \left(\frac{\partial f_i}{\partial x_p} \right)^s &= \begin{pmatrix} 0 & \theta_1 \\ \theta_2 & \theta_3 \end{pmatrix}^s, \quad \left(\frac{\partial f_i}{\partial \theta_q} \right)^s = \begin{pmatrix} x_2 & 0 & 0 \\ 0 & x_1 & x_2 \end{pmatrix}^s, \quad i, p = 1, 2; \quad q = 1, 2, 3; \\ (f_1)^s &= (f_1(t, \vec{x}, \vec{\theta}))^s = (\theta_1 x_2)^s, \quad (f_2)^s = (f_2(t, \vec{x}, \vec{\theta}))^s = (\theta_2 x_1 + \theta_3 x_2)^s + \cos(t), \\ \vec{x} &= \{x_1, x_2\}, \quad \vec{\theta} = \{\theta_1, \theta_2, \theta_3\}. \end{aligned} \quad (2.17)$$

3. Решение уравнений (2.17) ищем в виде:

$$\begin{aligned} \vec{x}^{s+1}(t) &= G(t)\vec{\theta}^{s+1} + \vec{D}(t), \Rightarrow \\ \begin{Bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{Bmatrix}^{s+1} &= \begin{pmatrix} G_{11}(t) & G_{12}(t) & G_{13}(t) \\ G_{21}(t) & G_{22}(t) & G_{23}(t) \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{Bmatrix}^{s+1} + \begin{Bmatrix} D_1(t) \\ D_2(t) \end{Bmatrix}. \end{aligned} \quad (2.18)$$

В соответствии с общими формулами метода квазилинеаризации подстановка выражений (2.18) в уравнения (2.17) приводит к следующим уравнениям:

$$\begin{aligned}
\frac{d(G(t)\bar{\theta}^{s+1} + \bar{D}(t))}{dt} &= \left(\frac{\partial f_i}{\partial x_p}\right)^s (G(t)\bar{\theta}^{s+1} + \bar{D}(t)) + \left(\frac{\partial f_i}{\partial \theta_q}\right)^s \bar{\theta}^{s+1} + \\
&+ \bar{f}^s - \left(\frac{\partial f_i}{\partial x_p}\right)^s \bar{x}^s - \left(\frac{\partial f_i}{\partial \theta_q}\right)^s \bar{\theta}^s, \quad i, p = 1, 2, \quad q = 1, 2, 3; \Rightarrow \\
\frac{dG(t)}{dt} \bar{\theta}^{s+1} + \frac{d\bar{D}(t)}{dt} &= \left[\left(\frac{\partial f_i}{\partial x_p}\right)^s G(t) + \left(\frac{\partial f_i}{\partial \theta_q}\right)^s \right] \bar{\theta}^{s+1} + \\
&+ \bar{f}^s - \left(\frac{\partial f_i}{\partial \theta_q}\right)^s \bar{\theta}^s + \left(\frac{\partial f_i}{\partial x_p}\right)^s (\bar{D}(t) - \bar{x}^s).
\end{aligned} \tag{2.19}$$

Здесь использовано условие стационарности системы:

$$\frac{d\bar{\theta}}{dt} = 0. \tag{2.20}$$

Приравнявая коэффициенты при одинаковых степенях вектора параметров $(\bar{\theta}^{s+1})^1$, $(\bar{\theta}^{s+1})^0$, от уравнений (2.19) приходим к уравнениям:

$$\frac{dG(t)}{dt} = \left(\frac{\partial f_i}{\partial x_p}\right)^s G(t) + \left(\frac{\partial f_i}{\partial \theta_q}\right)^s, \quad i, p = 1, 2, \dots, n, \quad q = 1, 2, \dots, m; \tag{2.21}$$

$$\frac{d\bar{D}(t)}{dt} = \bar{f}^s - \left(\frac{\partial f_i}{\partial \theta_q}\right)^s \bar{\theta}^s + \left(\frac{\partial f_i}{\partial x_p}\right)^s (\bar{D}(t) - \bar{x}^s), \quad i, p = 1, 2, \quad q = 1, 2, 3; \tag{2.22}$$

$$\frac{d\bar{D}(t)}{dt} = \left(\frac{\partial f_i}{\partial x_p}\right)^s \bar{D}(t) + \left[\bar{f}^s - \left(\frac{\partial f_i}{\partial \theta_q}\right)^s \bar{\theta}^s - \left(\frac{\partial f_i}{\partial x_p}\right)^s \bar{x}^s \right].$$

В соответствии с соотношениями (2.4), (2.18) решение уравнений (2.17) должно удовлетворять начальным условиям:

$$\begin{aligned}
\bar{x}^{s+1}(0) &= G(0)\bar{\theta}^{s+1} + \bar{D}(0) = \tilde{x}^{s+1}(0), \\
\tilde{x}^{s+1}(0) &= \{\tilde{x}_1(0), \tilde{x}_2(0) = 1\}, \quad \tilde{x}_1(0) = \frac{3}{2}, \quad \tilde{x}_2(0) = 1.
\end{aligned} \tag{2.23}$$

На этом основании при решении уравнений (2.21), (2.22) можно ставить соответственно граничные условия вида:

$$\begin{aligned} G(0) &= 0, \\ \vec{D}(0) &= \tilde{x}^{s+1}(0). \end{aligned} \quad (2.24)$$

Для решения уравнений (2.21), (2.22) с граничными условиями (2.23), (2.24) при решении этого примера была использована схема Эйлера с пересчетом [4]. Результаты расчета переменных состояния по формуле (2.18) на разных этапах итерационного процесса приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Оценки компонент вектора переменных состояния в ходе итерационного процесса

j	$s = 0$		$s + 1 = 1$		$s + 1 = 2$	
	$x_1^s(t^{(j)})$	$x_2^s(t^{(j)})$	$x_1^{s+1}(t^{(j)})$	$x_2^{s+1}(t^{(j)})$	$x_1^{s+1}(t^{(j)})$	$x_2^{s+1}(t^{(j)})$
1	0.1500E+01	0.1000E+01	0.1500E+01	0.1000E+01	0.1500E+01	0.1000E+01
2	0.1500E+01	0.1104E+01	0.1480E+01	0.9067E+00	0.1474E+01	0.9023E+00
3	0.1500E+01	0.1208E+01	0.1457E+01	0.8247E+00	0.1450E+01	0.8188E+00
4	0.1500E+01	0.1309E+01	0.1433E+01	0.7525E+00	0.1428E+01	0.7461E+00
5	0.1500E+01	0.1406E+01	0.1407E+01	0.6888E+00	0.1408E+01	0.6808E+00
6	0.1500E+01	0.1500E+01	0.1378E+01	0.6321E+00	0.1390E+01	0.6196E+00
7	0.1500E+01	0.1587E+01	0.1349E+01	0.5806E+00	0.1374E+01	0.5594E+00
8	0.1500E+01	0.1669E+01	0.1317E+01	0.5328E+00	0.1359E+01	0.4971E+00
9	0.1500E+01	0.1742E+01	0.1284E+01	0.4870E+00	0.1345E+01	0.4303E+00
10	0.1500E+01	0.1808E+01	0.1250E+01	0.4413E+00	0.1334E+01	0.3562E+00
11	0.1500E+01	0.1865E+01	0.1214E+01	0.3941E+00	0.1324E+01	0.2729E+00
12	0.1500E+01	0.1913E+01	0.1178E+01	0.3436E+00	0.1317E+01	0.1786E+00
13	0.1500E+01	0.1950E+01	0.1140E+01	0.2883E+00	0.1311E+01	0.7169E-01
14	0.1500E+01	0.1977E+01	0.1102E+01	0.2263E+00	0.1309E+01	-0.4877E-01
15	0.1500E+01	0.1994E+01	0.1064E+01	0.1562E+00	0.1310E+01	-0.1834E+00
16	0.1500E+01	0.1999E+01	0.1025E+01	0.7659E-01	0.1314E+01	-0.3324E+00
17	0.1500E+01	0.1994E+01	0.9865E+00	-0.1401E-01	0.1321E+01	-0.4954E+00
18	0.1500E+01	0.1977E+01	0.9480E+00	-0.1168E+00	0.1333E+01	-0.6716E+00
19	0.1500E+01	0.1950E+01	0.9100E+00	-0.2329E+00	0.1349E+01	-0.8596E+00
20	0.1500E+01	0.1913E+01	0.8726E+00	-0.3632E+00	0.1370E+01	-0.1057E+01
21	0.1500E+01	0.1865E+01	0.8361E+00	-0.5086E+00	0.1396E+01	-0.1262E+01
22	0.1500E+01	0.1808E+01	0.8005E+00	-0.6697E+00	0.1428E+01	-0.1472E+01
23	0.1500E+01	0.1742E+01	0.7662E+00	-0.8470E+00	0.1465E+01	-0.1681E+01
24	0.1500E+01	0.1669E+01	0.7331E+00	-0.1041E+01	0.1507E+01	-0.1886E+01
25	0.1500E+01	0.1587E+01	0.7016E+00	-0.1251E+01	0.1555E+01	-0.2081E+01
26	0.1500E+01	0.1500E+01	0.6717E+00	-0.1478E+01	0.1609E+01	-0.2261E+01
27	0.1500E+01	0.1406E+01	0.6436E+00	-0.1721E+01	0.1668E+01	-0.2418E+01
28	0.1500E+01	0.1309E+01	0.6173E+00	-0.1980E+01	0.1731E+01	-0.2544E+01
29	0.1500E+01	0.1208E+01	0.5930E+00	-0.2254E+01	0.1800E+01	-0.2631E+01
30	0.1500E+01	0.1104E+01	0.5706E+00	-0.2543E+01	0.1871E+01	-0.2668E+01
31	0.1500E+01	0.1000E+01	0.5502E+00	-0.2845E+01	0.1946E+01	-0.2644E+01

Окончание табл. 2.2

j	$s+1=3$		$s+1=4$		$s+1=5$	
	$x_1^{s+1}(t^{(j)})$	$x_2^{s+1}(t^{(j)})$	$x_1^{s+1}(t^{(j)})$	$x_2^{s+1}(t^{(j)})$	$x_1^{s+1}(t^{(j)})$	$x_2^{s+1}(t^{(j)})$
1	0.1500E+01	0.1000E+01	0.1500E+01	0.1000E+01	0.1500E+01	0.1000E+01
2	0.1542E+01	0.8110E+00	0.1585E+01	0.8489E+00	0.1596E+01	0.8460E+00
3	0.1582E+01	0.6455E+00	0.1655E+01	0.7014E+00	0.1677E+01	0.6974E+00
4	0.1621E+01	0.4994E+00	0.1710E+01	0.5581E+00	0.1742E+01	0.5540E+00
5	0.1659E+01	0.3692E+00	0.1753E+01	0.4195E+00	0.1793E+01	0.4159E+00
6	0.1696E+01	0.2516E+00	0.1784E+01	0.2858E+00	0.1829E+01	0.2829E+00
7	0.1732E+01	0.1439E+00	0.1803E+01	0.1570E+00	0.1852E+01	0.1549E+00
8	0.1766E+01	0.4351E-01	0.1812E+01	0.3319E-01	0.1862E+01	0.3191E-01
9	0.1799E+01	-0.5168E-01	0.1810E+01	-0.8562E-01	0.1859E+01	-0.8619E-01
10	0.1829E+01	-0.1436E+00	0.1799E+01	-0.1995E+00	0.1844E+01	-0.1994E+00
11	0.1856E+01	-0.2339E+00	0.1779E+01	-0.3084E+00	0.1817E+01	-0.3077E+00
12	0.1880E+01	-0.3240E+00	0.1749E+01	-0.4123E+00	0.1779E+01	-0.4110E+00
13	0.1899E+01	-0.4151E+00	0.1711E+01	-0.5113E+00	0.1731E+01	-0.5093E+00
14	0.1913E+01	-0.5081E+00	0.1664E+01	-0.6052E+00	0.1673E+01	-0.6024E+00
15	0.1920E+01	-0.6039E+00	0.1608E+01	-0.6939E+00	0.1605E+01	-0.6901E+00
16	0.1920E+01	-0.7029E+00	0.1544E+01	-0.7772E+00	0.1529E+01	-0.7722E+00
17	0.1912E+01	-0.8056E+00	0.1471E+01	-0.8548E+00	0.1444E+01	-0.8485E+00
18	0.1895E+01	-0.9122E+00	0.1390E+01	-0.9264E+00	0.1351E+01	-0.9187E+00
19	0.1868E+01	-0.1023E+01	0.1300E+01	-0.9916E+00	0.1251E+01	-0.9825E+00
20	0.1831E+01	-0.1137E+01	0.1202E+01	-0.1050E+01	0.1146E+01	-0.1040E+01
21	0.1783E+01	-0.1254E+01	0.1096E+01	-0.1101E+01	0.1034E+01	-0.1090E+01
22	0.1723E+01	-0.1374E+01	0.9813E+00	-0.1145E+01	0.9175E+00	-0.1132E+01
23	0.1653E+01	-0.1497E+01	0.8592E+00	-0.1180E+01	0.7969E+00	-0.1167E+01
24	0.1571E+01	-0.1620E+01	0.7295E+00	-0.1207E+01	0.6732E+00	-0.1195E+01
25	0.1479E+01	-0.1743E+01	0.5926E+00	-0.1224E+01	0.5470E+00	-0.1214E+01
26	0.1377E+01	-0.1866E+01	0.4489E+00	-0.1231E+01	0.4192E+00	-0.1224E+01
27	0.1267E+01	-0.1985E+01	0.2990E+00	-0.1228E+01	0.2909E+00	-0.1226E+01
28	0.1150E+01	-0.2101E+01	0.1435E+00	-0.1215E+01	0.1628E+00	-0.1220E+01
29	0.1029E+01	-0.2210E+01	-0.1693E-01	-0.1189E+01	0.3600E-01	-0.1205E+01
30	0.9059E+00	-0.2311E+01	-0.1814E+00	-0.1152E+01	-0.8865E-01	-0.1181E+01
31	0.7854E+00	-0.2401E+01	-0.3488E+00	-0.1103E+01	-0.2102E+00	-0.1149E+01

Сравнивая результаты расчета вектора переменных состояния на пятом шаге итерационного процесса идентификации параметров и состояния системы (последние колонки табл. 2.2) с точным решением, приведенным в таблице 2.1, можно отметить хорошее совпадение при относительно малом количестве итераций.

4. В соответствии с общим алгоритмом расчета на каждом шаге итерационного процесса рассчитываем компоненты векторов $\vec{Y}^{(j)}$:

$$\vec{Y}^{(j)} = \vec{y}^{(j)} - C\vec{D}(t^{(j)}) = \{Y_1^{(j)}, Y_2^{(j)}\}, \quad C = \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{pmatrix}. \quad (2.25)$$

Также на каждом итерационном шаге рассчитывается матрица $F^{(j)}$, которая аналогична расширенной матрице плана в теории планирования эксперимента:

$$F^{(j)} = CG(t^{(j)}) = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} G_{11}(t^{(j)}) & G_{12}(t^{(j)}) & G_{13}(t^{(j)}) \\ G_{21}(t^{(j)}) & G_{22}(t^{(j)}) & G_{23}(t^{(j)}) \end{pmatrix}. \quad (2.26)$$

5. На следующем шаге формируется система уравнений

$$M \tilde{\theta}^{s+1} = \vec{Y}, \quad (2.27)$$

где элементы матрицы M и вектора \vec{Y} рассчитываются по формулам:

$$M_{rq} = \sum_{p=1}^k \sum_{j=1}^N F_{pq}^{(j)} F_{pr}^{(j)}, \quad Y_r = \sum_{p=1}^k \sum_{j=1}^N F_{pr}^{(j)} Y_p^{(j)}, \quad q, r = 1, 2, 3; k = 2; N = 31. \quad (2.28)$$

В рассматриваемом примере для случаев $s = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6$ эти уравнения имеют вид:

$$\begin{pmatrix} 0.1445E+04 & 0.1038E+04 & 0.1156E+04 \\ 0.1038E+04 & 0.1166E+04 & 0.1297E+04 \\ 0.1156E+04 & 0.1297E+04 & 0.1445E+04 \end{pmatrix} \tilde{\theta}^{s+1} = \begin{pmatrix} -0.1086E+04 \\ -0.1115E+04 \\ -0.1237E+04 \end{pmatrix}, \quad s = 0, \quad (2.29)$$

$$\begin{pmatrix} 0.2538E+05 & -0.4093E+05 & -0.1693E+05 \\ -0.4093E+05 & 0.6623E+05 & 0.2743E+05 \\ -0.1693E+05 & 0.2743E+05 & 0.1138E+05 \end{pmatrix} \tilde{\theta}^{s+1} = \begin{pmatrix} 0.3202E+05 \\ -0.5191E+05 \\ -0.2154E+05 \end{pmatrix}, \quad s = 1, \quad (2.30)$$

$$\begin{pmatrix} 0.7620E+02 & 0.4297E+01 & 0.3478E+02 \\ 0.4297E+01 & 0.5515E+02 & -0.1927E+02 \\ 0.3478E+02 & -0.1927E+02 & 0.4039E+02 \end{pmatrix} \tilde{\theta}^{s+1} = \begin{pmatrix} -0.1019E+02 \\ -0.4927E+02 \\ -0.2433E+01 \end{pmatrix}, \quad s = 2, \quad (2.31)$$

$$\begin{pmatrix} 0.6173E+02 & -0.8229E+02 & 0.3986E+02 \\ -0.8229E+02 & 0.2955E+03 & -0.9403E+02 \\ -0.8229E+02 & 0.2955E+03 & -0.9403E+02 \end{pmatrix} \tilde{\theta}^{s+1} = \begin{pmatrix} 0.1028E+03 \\ -0.2904E+03 \\ 0.6634E+02 \end{pmatrix}, \quad s = 3, \quad (2.32)$$

$$\begin{pmatrix} 0.4263E+02 & -0.8007E+02 & 0.3856E+02 \\ -0.8007E+02 & 0.3386E+03 & -0.7830E+02 \\ 0.3856E+02 & -0.7830E+02 & 0.7093E+02 \end{pmatrix} \tilde{\theta}^{s+1} = \begin{pmatrix} 0.8421E+02 \\ -0.3405E+03 \\ 0.4611E+02 \end{pmatrix}, \quad s = 4, \quad (2.33)$$

$$\begin{pmatrix} 0.4176E+02 & -0.7856E+02 & 0.3951E+02 \\ -0.7856E+02 & 0.3409E+03 & -0.7589E+02 \\ 0.3951E+02 & -0.7589E+02 & 0.7012E+02 \end{pmatrix} \tilde{\theta}^{s+1} = \begin{pmatrix} 0.8088E+02 \\ -0.3439E+03 \\ 0.4540E+02 \end{pmatrix}, \quad s = 5, \quad (2.34)$$

$$\begin{pmatrix} 0.4175E+02 & -0.7846E+02 & 0.3949E+02 \\ -0.7846E+02 & 0.3404E+03 & -0.7576E+02 \\ 0.3949E+02 & -0.7576E+02 & 0.7004E+02 \end{pmatrix} \tilde{\theta}^{s+1} = \begin{pmatrix} 0.8078E+02 \\ -0.3433E+03 \\ 0.4533E+02 \end{pmatrix}, \quad s = 6. \quad (2.35)$$

Следует отметить, при решении этих уравнений может оказаться полезной процедура метода регуляризации, так как свойства информационной матрицы M существенно зависят как от выбора модели процесса (вида исходных уравнений модели), так и от выбора точек измерения на оси времени. При этом зачастую информационная матрица оказывается плохо обусловленной. В рассматриваемом примере эти уравнения относительно уточняемой на каждом шаге итерационного процесса оценки коэффициентов модели решались методом исключения Гаусса с выбором главного элемента по столбцам. Результаты последовательного уточнения оценки параметров (вектора коэффициентов) $\tilde{\theta}^{s+1}$ модели методом квазилинеаризации сведены в таблице 2.3. Нетрудно заметить, что в данном случае метод квазилинеаризации обеспечивает практически точное решение задачи уже за 5–6 итераций.

Таблица 2.3 – Оценки компонент вектора идентифицируемых параметров

j	$\bar{\theta}^0$	$s+1=1$	$s+1=2$	$s+1=3$	$s+1=4$	$s+1=5$	$s+1=6$
θ_1^{s+1}	0.0	-0.1849E+00	-0.2652E+00	0.4036E+00	0.8887E+00	0.9982E+00	0.9986E+00
θ_2^{s+1}	0.0	-0.2058E+01	-0.3099E+00	-0.1281E+01	-0.1028E+01	-0.1000E+01	-0.1001E+01
θ_3^{s+1}	0.0	0.1139E+01	-0.1540E+01	-0.1019E+01	-0.9184E+00	-0.9968E+00	-0.9981E+00

Следует отметить, что применение для решения этой задачи численного метода, основанного на дискретизации задачи путем замены производных их конечно-разностными аналогами (правосторонними производными) с последующим применением метода максимального правдоподобия дает в итоге следующий результат:

$$\tilde{\theta}_1 = 0.9504E+00, \quad \tilde{\theta}_2 = -0.9487E+00, \quad \tilde{\theta}_3 = -0.9398E+00. \quad (2.36)$$

Эта оценка по точности существенно уступает оценке, полученной методом квазилинеаризации.

Таким образом, рассмотренный вариант метода квазилинеаризации представляет собой достаточно универсальный метод идентификации параметров динамических систем, с неплохими характеристиками сходимости.

2.3 Пример программы идентификации параметров системы при известных начальных данных (FORTRAN)

Рассмотрим программу, написанную на языке FORTRAN, по которой выполнялись расчеты рассмотренного примера идентификации системы методом квазилинеаризации. Авторы должны предупредить, что при составлении программы не заботились о какой-либо оптимизации кода, а старались следовать тому, чтобы по возможности были узнаваемы расчетные формулы метода, описанные в предыдущем примере. Комментарии в тексте служат этой же цели. Комментарии набраны кириллицей (за исключением расчетных формул, набранных в редакторе формул), так что

не составит труда отличить их от собственно строк программы. Поэтому какого-то особого выделения комментариев в тексте нет. Кроме того, для сокращения в тексте программы удалены символы строк продолжения. Единственная цель, с которой приводится вариант программы, – показать, насколько просто программируется алгоритм метода квазилинеаризации даже при поверхностном знании любого из языков программирования.

1. Блок описания переменных.

```
***      NAME      QuasiLin5
          Program  QuasiLin5
          INTEGER  NXmax, nx
          PARAMETER (NXmax=2)
```

Описываем параметр, который задает количество компонент вектора переменных состояния $\vec{x}(t) = \{x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)\}$ и соответствующую переменную для задания текущего индекса массива $n_x = 1, 2, \dots, n$.

```
          INTEGER  NUmax
          PARAMETER (NUmax=2)
```

Описываем параметр, который задает количество компонент вектора управления (входного сигнала) $\vec{u}(t) = \{u_1(t), \dots, u_g(t)\}$.

```
          INTEGER  MTmax, mt
          PARAMETER (MTmax=3)
```

Описываем параметр, который задает количество компонент вектора параметров $\vec{\theta} = \{\theta_1, \dots, \theta_m\}$ и переменную для задания текущего индекса массива $m_i = 1, 2, \dots, m$.

```
          INTEGER  KYmax, ky
          PARAMETER (KYmax=2)
```

Описываем параметр, который задает количество компонент вектора выходного сигнала $\vec{y}(t) = \{y_1(t), \dots, y_k(t)\}$ и переменную для задания текущего индекса массива $k_y = 1, 2, \dots, k$.

```
INTEGER JMAX, j
PARAMETER (JMAX=31)
```

Описываем параметр, который задает количество точек на оси времени $t^{(j)} \in [t^{(0)}, T]$, $t^{(j)} = t^{(0)} + \Delta t(j-1)$, $j = 1, 2, \dots, N$ и переменную для задания номера текущего момента времени $j = 1, 2, \dots, N$.

```
REAL*8 DELTT
```

Описываем переменную для задания шага по времени Δt .

```
REAL*8 ZEITR
```

Описываем переменную для задания текущего значения времени $t^{(j)}$.

```
REAL*8 ZEITA
```

Описываем переменную для задания начала интервала моделирования $t^{(0)}$.

```
REAL*8 ZEITB
```

Описываем переменную для задания конца интервала моделирования T .

```
REAL*8 ZEITM
```

```
DIMENSION ZEITM(1:JMAX)
```

Описываем массив узлов на оси времени в интервале моделирования $[t^{(0)}, T]$.

```
REAL*8 MatrixA
```

```
DIMENSION MatrixA(1:KYmax, 1:NXmax)
```

Описываем массив для задания матрицы коэффициентов в уравнении выходов $\vec{y}(t) = C\vec{x}(t)$.

```
INTEGER i, k, l, m, n, p, q, r, s, iis
```

Описываем переменные для задания текущих значений индексов при организации различных циклов вычислений.

```
REAL*8 MatrixC
```

```
DIMENSION MatrixC(1:NXmax,1:MTmax,1:JMAX)
```

Описываем массив для хранения матрицы

$$G(t^{(j)}) = \begin{pmatrix} G_{11}(t^{(j)}) & G_{12}(t^{(j)}) & G_{13}(t^{(j)}) \\ G_{21}(t^{(j)}) & G_{22}(t^{(j)}) & G_{23}(t^{(j)}) \end{pmatrix} \text{ в каждый момент времени (первый}$$

индекс определяет номер строки, второй – номер столбца, третий – номер момента времени).

```
REAL*8 VektorD
```

```
DIMENSION VektorD(1:NXmax,1:JMAX)
```

Описываем массив для хранения компонент вектора

$$\vec{D}(t^{(j)}) = \{D_1^{(j)}, D_2^{(j)}\} \text{ в каждый момент времени (первый индекс – номер}$$

компоненты, второй – номер момента времени).

```
REAL*8 VectorY
```

```
DIMENSION VectorY(1:KYmax,1:JMAX)
```

Описываем массив для хранения компонент вектора измеряемого выходного сигнала $\vec{y}(t^{(j)}) = \{y_1^{(j)}, y_2^{(j)}\}$ в каждый момент времени (первый индекс – номер компоненты, второй – номер момента времени).

```
INTEGER NSMAX, is
```

```
PARAMETER (NSMAX=10)
```

Описываем параметр, который определяет максимальное количество итераций и переменную для задания текущего номера итерации (s).

```
REAL*8 VektorX
```

```
DIMENSION VektorX(1:NXmax,1:JMAX,0:NSMAX+1)
```

Описываем массив для хранения значений компонент вектора переменных состояния $\vec{x}^s(t^{(j)}) = \{x_1^{(j)}, x_2^{(j)}\}^s$ в узлах на оси времени на каждом

шаге итерационного процесса (первый индекс – номер компоненты, второй – номер момента времени, третий – номер итерации).

```
REAL*8 VektorU
DIMENSION VektorU(1:NUmax, 1:JMAX)
```

Описываем массив для задания значений компонент вектора входного сигнала в узлах на оси времени $\vec{u}(t^{(j)}) = \{u_1(t^{(j)}), u_2(t^{(j)})\}$ (первый индекс – номер компоненты, второй – номер момента времени).

```
REAL*8 VекTET
DIMENSION VекTET(1:MTmax, 0:NSMAX+1)
```

Описываем массив для хранения значений компонент вектора оцениваемых параметров $\vec{\theta}^s = \{\theta_1^s, \theta_2^s, \theta_3^s\}$ на каждом шаге итерационного процесса (первый индекс – номер компоненты, второй – номер итерации).

```
REAL*8 VEKTFI
DIMENSION VEKTFI(1:NXmax, 1:JMAX, 0:NSMAX+1)
```

Описываем массив для хранения значений компонент вектора $\vec{f}^s(t^{(j)}, \vec{x}, \vec{u}, \vec{\theta}) = \{f_1(t^{(j)}, \vec{x}, \vec{u}, \vec{\theta}), f_2(t^{(j)}, \vec{x}, \vec{u}, \vec{\theta})\}^s$ в каждый момент времени на каждом шаге итерационного процесса (первый индекс – номер компоненты, второй – номер момента времени, третий – номер итерации).

```
REAL*8 dFIdXJ
DIMENSION dFIdXJ(1:NXmax, 1:NXmax, 1:JMAX, 0:NSMAX+1)
```

Описываем массив для хранения значений матрицы

$$\left(\frac{\partial f_i}{\partial x_p}\right)^s = \begin{pmatrix} 0 & \theta_1 \\ \theta_2 & \theta_3 \end{pmatrix}^s, \quad (i, p = 1, 2) \text{ в каждый момент времени на каждом шаге}$$

итерационного процесса (первый индекс – номер строки, второй – номер столбца, третий – номер момента времени, четвертый – номер итерации).

```
REAL*8 dFIdTJ
DIMENSION dFIdTJ(1:NXmax, 1:MTmax, 1:JMAX, 0:NSMAX+1)
```

Описываем массив для хранения значений матрицы

$$\left(\frac{\partial f_i}{\partial \theta_q} \right)^s = \begin{pmatrix} x_2 & 0 & 0 \\ 0 & x_1 & x_2 \end{pmatrix}^s, \quad (i = 1, 2; q = 1, 2, 3) \quad \text{в каждый момент времени}$$

на каждом шаге итерационного процесса (первый индекс – номер строки, второй – номер столбца, третий – номер момента времени, четвертый – номер итерации).

```
REAL*8 RY1, RY2, RY3
```

```
INTEGER NXmaxR, MTmaxR, JMAXR, NSMAXR
```

Описываем вспомогательные переменные.

```
REAL*8 VEKTF1, VEKTF2
```

Описываем переменные, которые соответствуют текущим значениям компонент вектора $\vec{f}^s(t^{(j)}, \vec{x}, \vec{u}, \vec{\theta}) = \{f_1(t^{(j)}, \vec{x}, \vec{u}, \vec{\theta}), f_2(t^{(j)}, \vec{x}, \vec{u}, \vec{\theta})\}^s$.

```
REAL*8 dF1dX1, dF1dX2, dF2dX1, dF2dX2
```

Описываем переменные, которые соответствуют текущим значениям

элементов матрицы $\left(\frac{\partial f_i}{\partial x_p} \right)^s, \quad i, p = 1, 2$.

```
REAL*8 dF1dT1, dF1dT2, dF1dT3, dF2dT1, dF2dT2, dF2dT3
```

Описываем переменные, которые соответствуют текущим значениям

элементов матрицы $\left(\frac{\partial f_i}{\partial \theta_q} \right)^s, \quad i = 1, 2; q = 1, 2, 3$.

```
REAL*8 MatrAC
```

```
DIMENSION MatrAC(1:KYmax, 1:MTmax, 1:JMAX)
```

Описываем массив для хранения значений матрицы

$$F^{(j)} = CG(t^{(j)}) = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} G_{11}(t^{(j)}) & G_{12}(t^{(j)}) & G_{13}(t^{(j)}) \\ G_{21}(t^{(j)}) & G_{22}(t^{(j)}) & G_{23}(t^{(j)}) \end{pmatrix} \quad \text{в каждый момент}$$

времени (первый индекс – номер строки, второй – номер столбца, третий – номер момента времени).

```
REAL*8 YGROS
```

```
DIMENSION YGROS (1:KYmax, 1:JMAX)
```

Описываем массив для хранения значений вектора $\vec{Y}^{(j)} = \vec{y}^{(j)} - A\vec{D}(t^{(j)}) = \{Y_1^{(j)}, Y_2^{(j)}\}$, в каждый момент времени (первый индекс – номер компоненты, второй – номер момента времени).

```
REAL*8 MATRINF
```

```
DIMENSION MATRINF (1:MTmax, 1:MTmax)
```

Описываем массив для хранения текущих значений компонент информационной матрицы $M = (M_{qr})$, $M_{rq} = \sum_{p=1}^k \sum_{j=1}^N F_{pq}^{(j)} F_{pr}^{(j)}$.

```
REAL*8 YY
```

```
DIMENSION YY (1:MTmax)
```

Описываем массив для хранения текущих значений компонент

$\vec{Y} = \{Y_1, Y_2, Y_3\}$, $Y_r = \sum_{p=1}^k \sum_{j=1}^N F_{pr}^{(j)} Y_p^{(j)}$, $q, r = 1, 2, 3$.

```
REAL*8 XTET
```

```
DIMENSION XTET (1:MTmax)
```

Описываем вспомогательный массив для хранения текущих значений компонент вектора параметров $\vec{\theta}^s = \{\theta_1^s, \theta_2^s, \theta_3^s\}$.

2. Расчетный блок.

```
217   FORMAT (4 (1X, E14.6) )
```

```
317   FORMAT (2 (1X, E11.4) )
```

```
417   FORMAT (3 (1X, E14.6) )
```

```
517   FORMAT (4 (1X, E11.4) )
```

```
617   FORMAT (3 (1X, E11.4) )
```

```
717   FORMAT (E11.4)
```

```
817   FORMAT (1X, I4, 2 (4X, E11.4) )
```

```
311   FORMAT (1X, I4, 3 (4X, E11.4) )
```

315 FORMAT (1X, I4, X, E11.4)

917 FORMAT (D11.4)

Описываем форматы ввода-вывода результатов.

```

DO nx=1, NXmax
  DO ky=1, KYmax
    MatrixA(ky, nx)=0.0D+0
  ENDDO
DO j=1, JMAX
  DO mt=1, MTmax
    MatrixC(nx, mt, j)=0.0D+0
  ENDDO
  DO is =0, NSMAX+1
    VektorX(nx, j, is)=0.0D+0
    VEKTFI(nx, j, is)=0.0D+0
  ENDDO
  VektorD(nx, j)=0.0D+0
ENDDO
ENDDO

DO nx=1, NUmax
  DO j=1, JMAX
VektorU(nx, j)=0.0D+0
  ENDDO
ENDDO

DO j=1, JMAX
  DO ky=1, KYmax
    VectorY(ky, j)=0.0D+0
  ENDDO

```

```

ZEITM(j) = 0.0D+0
ENDDO

DO mt=1, MTmax
DO is=0, NSMAX+1
VektTET(mt, is) = 0.0D+0
ENDDO
ENDDO

```

Проводим зачистку основных индексных переменных (массивов).

```

OPEN(1, FILE='ExitEqMatrA.dat', STATUS='OLD')
DO ky=1, KYmax
READ(1, *) (MatrixA(ky, nx), nx=1, NXmax)
ENDDO
CLOSE(UNIT=1)

```

Задаем (осуществляем ввод из заранее созданного файла данных)

матрицы $C = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 1 \end{pmatrix}$ в уравнении выходов $\vec{y}(t) = C\vec{x}(t)$.

```

ZEITA=0.0D+0
ZEITB=3.1415926D+0
DELTT=(ZEITB-ZEITA)/(JMAX-1)
DO j=1, JMAX
ZEITR=ZEITA+DELTT*(j-1)
ZEITM(j)=ZEITR
ENDDO

```

Задаем (или осуществляем ввод из заранее созданного файла данных) точки на оси времени

$$t^{(j)} \in [0, T], \quad t^{(0)} = 0, \quad t^{(N)} = T = \pi, \quad t^{(j)} = t^{(0)} + \pi \frac{(j-1)}{(N-1)}, \quad j = 1, \dots, N; \quad N = 31.$$

```

      OPEN (UNIT=1, FILE='VectorY.dat', STATUS='OLD')
      DO j=1, JMAX
      READ (1, 917)  VectorY(1, j)
      ENDDO
      DO j=1, JMAX
      READ (1, 917)  VectorY(2, j)
      ENDDO
      CLOSE (UNIT=1)

```

Задаем (осуществляем ввод из заранее созданного файла данных) значения измеренных компонент вектора выходного сигнала в уравнении выходов $\vec{y}(t^{(j)})$.

```

      OPEN (UNIT=1, FILE='VektorU.dat', STATUS='OLD')
      DO j=1, JMAX
      WRITE (1, 917)  VektorU(1, j)
      ENDDO
      DO j=1, JMAX
      WRITE (1, 917)  VektorU(2, j)
      ENDDO

```

Задаем (осуществляем ввод из заранее созданного файла данных) значения измеренных компонент вектора входного сигнала $\vec{u}(t^{(j)})$.

На этом подготовительный этап вычислений заканчивается и можно начинать процесс идентификации. Прежде всего здесь требуется задать начальные оценки параметров, переменных состояния и других величин, необходимых для начала итерационного процесса.

```

      CALL TETinit (VekTET, MTmax, NSMAX)

```

Задаем начальную оценку вектора параметров модели $\vec{\theta}^0 = 0$. Для этого вызывается специальная процедура `TETinit (VekTET, MTmax, NSMAX)`. Текст всех процедур приводится далее. Разумеется, начальные оценки

можно задать и другим способом, например, считывать их из заранее созданного файла.

```

DO is=0, NSMAX+1
  DO j=1, JMAX
    VektorX(1, j, is)=0.0D+0
    VektorX(2, j, is)=0.0D+0
    IF (is .eq. 0) then
      VektorX(1, j, is)=3.0D+0/2.0D+0
      VektorX(2, j, is)=1.0D+0+DSIN(ZEITR)
    ENDIF
  ENDDO
ENDDO

```

Задаем начальную оценку вектора переменных состояния

$$\begin{cases} x_1^0(t^{(j)}) = 3/2, \\ x_2^0(t^{(j)}) = 1 + \sin(t^{(j)}), \quad j = 1, 2, \dots, N. \end{cases}$$

```

OPEN(UNIT=1, FILE='VektorX_Init.yes')
CCCC  WRITE(1, *)  'Init VALUE X(1j0)  X(2j0) '
      WRITE(1, *)  'Init VALUE X(1j0) '
      DO j=1, JMAX
        WRITE(1, 717)  VektorX(1, j, 0)
      ENDDO
      WRITE(1, *)  'Init VALUE X(2j0) '
      DO j=1, JMAX
        WRITE(1, 717)  VektorX(2, j, 0)
      ENDDO
      CLOSE(UNIT=1)

```

Осуществляем вывод начальной оценки вектора переменных состояния для последующего контроля правильности вычислений.

```

DO is=0,NSMAX+1
  DO nx=1,NXmax
    DO j=1,JMAX
      VEKTFI (nx,j,is)=0.0D+0
      IF (is .EQ. 0) THEN
        IF (nx .EQ. 1) VEKTFI (nx,j,is)=VEKTF1 (VektTET,VektorX,ZEITM(j),
          NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,is)
        IF (nx .EQ. 2) VEKTFI (nx,j,is)=VEKTF2 (VektTET,VektorX,ZEITM(j),
          NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,is)
      ENDIF
      DO i=1,NXmax
        dFIdXJ (nx,i,j,is)=0.0D+0
        IF (is .EQ. 0) THEN
          IF (nx .EQ. 1) THEN
            IF (i .EQ. 1) dFIdXJ (nx,i,j,is)=dF1dX1 (VektTET,VektorX,ZEITM(j),
              NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,is)
            IF (i .EQ. 2) dFIdXJ (nx,i,j,is)=dF1dX2 (VektTET,VektorX,ZEITM(j),
              NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,is)
          ENDIF
          IF (nx .EQ. 2) THEN
            IF (i .EQ. 1) dFIdXJ (nx,i,j,is)=dF2dX1 (VektTET,VektorX,ZEITM(j),
              NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,is)
            IF (i .EQ. 2) dFIdXJ (nx,i,j,is)=dF2dX2 (VektTET,VektorX,ZEITM(j),
              NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,is)
          ENDIF
        ENDIF
      ENDDO
      DO mt=1,MTmax
        dFIdTJ (nx,mt,j,is)=0.0D+0
        IF (is .EQ. 0) THEN
          IF (nx .EQ. 1) THEN
            IF (mt .EQ. 1) dFIdTJ (nx,mt,j,is)=
dF1dT1 (VektTET,VektorX,ZEITM(j),NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,is)
            IF (mt .EQ. 2) dFIdTJ (nx,mt,j,is)=
dF1dT2 (VektTET,VektorX,ZEITM(j),NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,is)
            IF (mt .EQ. 3) dFIdTJ (nx,mt,j,is)=
dF1dT3 (VektTET,VektorX,ZEITM(j),NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,is)
          ENDIF
          IF (nx .EQ. 2) THEN
            IF (mt .EQ. 1) dFIdTJ (nx,mt,j,is)=
dF2dT1 (VektTET,VektorX,ZEITM(j),NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,is)

```



```

      IF (mt .EQ. 2) dFIdTJ(nx,mt,j,is) =
dF2dT2 (VektTET, VektorX, ZEITM(j), NXmax, MTmax, JMAX, NSMAX, j, is)
      IF (mt .EQ. 3) dFIdTJ(nx,mt,j,is) =
dF2dT3 (VektTET, VektorX, ZEITM(j), NXmax, MTmax, JMAX, NSMAX, j, is)
      ENDIF
      ENDIF
      ENDDO
      ENDDO
      ENDDO
      ENDDO

```

Осуществляем зачистку массивов для хранения вектора

$\vec{f}(t^{(j)}), \vec{x}(t^{(j)}), \vec{u}(t^{(j)}), \vec{\theta}^s$ и матриц $\left(\frac{\partial f_i}{\partial x_p}\right)^s, \left(\frac{\partial f_i}{\partial \theta_q}\right)^s$ и вычисляем их

начальные значения при $s = 0$ в каждой точке $t^{(j)}$ на оси времени. Каждая частная производная вычисляется с помощью специальной процедуры, приведенной в конце программы.

```
is=0
```

```
CALL VDinit (VektorD, ZEITM, NXmax, JMAX, NSMAX)
```

Задаем начальное условие для вектора $\vec{D}(0) = \vec{x}^{\tilde{s}+1}(0)$. Для этого вызывается специальная процедура.

```

DO j=2, JMAX
CALL EUFORD (VektorD, dFIdXJ, dFIdTJ, VEKTFI, VektTET, VektorX,
            DELTT, NXmax, MTmax, JMAX, NSMAX, j, is)
      ENDDO

```

По схеме Эйлера с пересчетом вычисляем начальную оценку вектора $\vec{D}(t^{(j)})$ в каждой точке $t^{(j)}$ на оси времени. Для этого вызывается специальная процедура.

```
CALL MCinit (MatrixC, NXmax, MTmax, JMAX)
```

Задаем начальное условие для матрицы $C(0) = 0$. Для этого вызывается специальная процедура.

```

DO j=2, JMAX
CALL EUFORC (MatrixC, dFIdXJ, dFIdTJ, DELTT, NXmax, MTmax,
             JMAX, NSMAX, j, is)
ENDDO

```

По схеме Эйлера с пересчетом вычисляем начальную оценку матрицы $C(t^{(j)})$ в каждой точке $t^{(j)}$ на оси времени. Для этого вызывается специальная процедура.

```

CALL SVectX (VektorX, MatrixC, VektTET, VektorD,
            NXmax, MTmax, JMAX, NSMAX, is)

```

Вновь рассчитываем начальную оценку вектора переменных состояния по формуле $\bar{x}^0(t^{(j)}) = G(t^{(j)})\bar{\theta}^0 + \bar{D}(t^{(j)})$ в каждой точке $t^{(j)}$ на оси времени. Такой пересчет начальной оценки вектора переменных состояния осуществляется для того, чтобы изначально задать согласованные значения всех величин, необходимых для запуска основной части итерационного процесса. Этот пересчет можно опустить, что приводит к изменениям рассчитываемых параметров на начальных этапах, но обычно слабо влияет на конечный результат.

```

OPEN (UNIT=1, FILE='VektorX v iter PROZESSE.yes')
OPEN (UNIT=17, FILE='VektTET v iter PROZESSE.yes')

```

Открываем файлы для вывода результатов вычислений и начинаем цикл итерационного уточнения идентифицируемых параметров и переменных состояния (далее переменная цикла is – номер итерационного шага).

НАЧАЛО ИТЕРАЦИОННОЙ ПРОЦЕДУРЫ

```

DO is=0, NSMAX
DO nx=1, NXmax
DO j=1, JMAX
IF (nx .EQ. 1) VEKTFI (nx, j, is) =VEKTF1 (VektTET, VektorX, ZEITM (j) ,
            NXmax, MTmax, JMAX, NSMAX, j, is)
IF (nx .EQ. 2) VEKTFI (nx, j, is) =VEKTF2 (VektTET, VektorX, ZEITM (j) ,
            NXmax, MTmax, JMAX, NSMAX, j, is)
ENDDO
ENDDO

```

Вычисляем новые значения вектора $\vec{f}(t^{(j)}), \vec{x}(t^{(j)}), \vec{u}(t^{(j)}), \vec{\theta}^s$

на данном шаге итераций в каждой точке $t^{(j)}$ на оси времени.

```

DO nx=1, NXmax
  DO i=1, NXmax
    DO j=1, JMAX
      IF (nx .EQ. 1) THEN
        IF (i .EQ. 1) dFIdXJ(nx, i, j, is) = dF1dX1 (VektTET, VektorX, ZEITM(j),
          NXmax, MTmax, JMAX, NSMAX, j, is)
        IF (i .EQ. 2) dFIdXJ(nx, i, j, is) = dF1dX2 (VektTET, VektorX, ZEITM(j),
          NXmax, MTmax, JMAX, NSMAX, j, is)
      ENDIF
      IF (nx .EQ. 2) THEN
        IF (i .EQ. 1) dFIdXJ(nx, i, j, is) = dF2dX1 (VektTET, VektorX, ZEITM(j),
          NXmax, MTmax, JMAX, NSMAX, j, is)
        IF (i .EQ. 2) dFIdXJ(nx, i, j, is) = dF2dX2 (VektTET, VektorX, ZEITM(j),
          NXmax, MTmax, JMAX, NSMAX, j, is)
      ENDIF
    ENDDO
  ENDDO
ENDDO

```

Вычисляем новые значения компонент матрицы $\left(\frac{\partial f_i}{\partial x_p}\right)^s$ на данном

шаге итераций в каждой точке $t^{(j)}$ на оси времени.

```

DO nx=1, NXmax
  DO mt=1, MTmax
    DO j=1, JMAX
      IF (nx .EQ. 1) THEN
        IF (mt .EQ. 1) dFIdTJ(nx, mt, j, is) =
          dF1dT1 (VektTET, VektorX, ZEITM(j), NXmax, MTmax, JMAX, NSMAX, j, is)
        IF (mt .EQ. 2) dFIdTJ(nx, mt, j, is) =
          dF1dT2 (VektTET, VektorX, ZEITM(j), NXmax, MTmax, JMAX, NSMAX, j, is)
        IF (mt .EQ. 3) dFIdTJ(nx, mt, j, is) =
          dF1dT3 (VektTET, VektorX, ZEITM(j), NXmax, MTmax, JMAX, NSMAX, j, is)
      ENDIF
    ENDDO
  ENDDO
ENDDO

```

```

      IF (nx .EQ. 2) THEN
          IF (mt .EQ. 1) dFIdTJ(nx,mt,j,is) =
dF2dT1 (VektTET, VektorX, ZEITM(j), NXmax, MTmax, JMAX, NSMAX, j, is)
          IF (mt .EQ. 2) dFIdTJ(nx,mt,j,is) =
dF2dT2 (VektTET, VektorX, ZEITM(j), NXmax, MTmax, JMAX, NSMAX, j, is)
          IF (mt .EQ. 3) dFIdTJ(nx,mt,j,is) =
dF2dT3 (VektTET, VektorX, ZEITM(j), NXmax, MTmax, JMAX, NSMAX, j, is)
      ENDIF
    ENDDO
  ENDDO
ENDDO

```

Вычисляем новые значения компонент матрицы $\left(\frac{\partial f_i}{\partial \theta_q} \right)^s$ на данном

шаге итераций в каждой точке $t^{(j)}$ на оси времени.

```
CALL MCinit (MatrixC, NXmax, MTmax, JMAX)
```

Задаем начальное условие для матрицы $C(0) = 0$.

```
CALL VDinit (VektorD, ZEITM, NXmax, JMAX, NSMAX)
```

Задаем начальное условие для вектора $\vec{D}(0) = \tilde{x}^{s+1}(0)$.

```
DO j=2, JMAX
```

```
  CALL EUFORC (MatrixC, dFIdXJ, dFIdTJ, DELTT, NXmax, MTmax,
              JMAX, NSMAX, j, is)
```

```
  CALL EUFORD (VektorD, dFIdXJ, dFIdTJ, VEKTFI, VektTET, VektorX,
              DELTT, NXmax, MTmax, JMAX, NSMAX, j, is)
```

```
ENDDO
```

По схеме Эйлера с пересчетом вычисляем новые оценки для матрицы $G(t^{(j)})$ и вектора $\vec{D}(t^{(j)})$ в каждой точке $t^{(j)}$ на оси времени.

```
CALL
```

```
SMatrAC (MatrAC, MatrixA, MatrixC, KYmax, MTmax, NXmax, JMAX)
```

Вычисляем матрицу $F^{(j)} = CG(t^{(j)})$ в каждой точке $t^{(j)}$ на оси времени на данном шаге итерационного процесса.

CALL SYGROS (YGROS, VectorY, MatrixA, VektorD, KYmax, NXmax, JMAX)

Вычисляем вектор $\vec{Y}^{(j)} = \vec{y}^{(j)} - C\vec{D}(t^{(j)})$ в каждой точке $t^{(j)}$ на оси времени на данном шаге итерационного процесса.

CALL SMATRINF (MATRINF, MatrAC, KYmax, MTmax, JMAX)

Вычисляем информационную матрицу $M = (M_{rq})$,

$$M_{rq} = \sum_{p=1}^2 \sum_{j=1}^{31} F_{pq}^{(j)} F_{pr}^{(j)}, \quad q, r = 1, 2, 3 \text{ на данном шаге итерационного процесса.}$$

CALL SY (YY, MatrAC, YGROS, KYmax, MTmax, JMAX)

Вычисляем вектор $\vec{Y} = \{Y_1, Y_2, Y_3\}$, $Y_r = \sum_{p=1}^2 \sum_{j=1}^{31} F_{pr}^{(j)} Y_p^{(j)}$, $r = 1, 2, 3$

на данном шаге итерационного процесса.

WRITE (17, *) 'MATRINF is=', is

WRITE (17, 617) MATRINF (1, 1), MATRINF (1, 2), MATRINF (1, 3)

WRITE (17, 617) MATRINF (2, 1), MATRINF (2, 2), MATRINF (2, 3)

WRITE (17, 617) MATRINF (3, 1), MATRINF (3, 2), MATRINF (3, 3)

WRITE (17, *) 'YY is=', is

WRITE (17, 617) YY (1), YY (2), YY (3)

Осуществляем вывод значений информационной матрицы для контроля вычислений.

CALL GAUSS (MTmax, MATRINF, YY, XTET)

Вычисляем уточненную оценку вектора параметров $\tilde{\theta}^{s+1}$, решая систему уравнений $M\tilde{\theta}^{s+1} = \vec{Y}$ методом исключения Гаусса с выбором главного элемента по столбцам [10] на данном шаге итерационного процесса.

DO mt=1, MTmax

VektET (mt, is+1) = XTET (mt)

ENDDO

Запоминаем новую оценку вектора параметров $\tilde{\theta}^{s+1}$ в специально отведенном массиве.

```
CALL SVectX(VektorX,MatrixC,VektTET,VektorD,
            NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,is+1)
```

Вычисляем уточненное значение вектора переменных состояния

$\vec{x}^{s+1}(t^{(j)}) = C(t^{(j)})\vec{\theta}^{s+1} + \vec{D}(t^{(j)})$ в каждой точке на оси времени.

```
WRITE(1,*) 'VALUE X(1jis+1) is+1=',is+1
DO j=1,JMAX
WRITE(1,717) VektorX(1,j,is+1)
ENDDO
WRITE(1,*) 'VALUE X(2jis+1) is+1=',is+1
DO j=1,JMAX
WRITE(1,717) VektorX(2,j,is+1)
ENDDO
IF (is .eq. 0) THEN
WRITE(17,*) 'VektTET is=',is
WRITE(17,617) VektTET(1,is),VektTET(2,is),VektTET(3,is)
ENDIF
WRITE(17,*) 'VektTET is+1=',is+1
WRITE(17,617) VektTET(1,is+1),VektTET(2,is+1),VektTET(3,is+1)
```

Выводим в файлы результатов оценки вектора переменных состояния $\vec{x}^{s+1}(t^{(j)}) = G(t^{(j)})\vec{\theta}^{s+1} + \vec{D}(t^{(j)})$ и параметров модели $\vec{\theta}^{s+1}$.

В качестве критерия прекращения итерационного процесса здесь используется условие достижения максимально допустимого количества итераций Nsmax, после чего происходит выход из цикла итерационных вычислений. В противном случае процедура вычислений повторяется, начиная с НАЧАЛА ИТЕРАЦИОННОЙ ПРОЦЕДУРЫ.

```
ENDDO ! is
CLOSE(UNIT=1)
CLOSE(UNIT=17)
End program QuasiLin5
```

Окончание программы расчета. Описание процедур. Все процедуры настолько просты, что помимо уже приведенных комментариев в дополнительном описании не нуждаются. Все они представляют собой простое повторение расчетных формул, приведенных при описании метода.

3. Блок описания процедур.

```

CCCCC+++++
SUBROUTINE TETinit (VektTET,MTmax,NSMAX)
  REAL*8 VektTET
  DIMENSION VektTET (1:MTmax,0:NSMAX+1)
  INTEGER MTmax,NSMAX
    INTEGER mt,is
    DO mt=1,MTmax
      VektTET (mt,0)=0.0D+0
      DO is=1,NSMAX+1
        VektTET (mt,is)=0.0D+0
      ENDDO
    ENDDO
  RETURN
  END
CCCCC+++++
SUBROUTINE MCinit (MatrixC,NXmax,MTmax,JMAX)
  REAL*8 MatrixC
  INTEGER NXmax,MTmax,JMAX
  DIMENSION MatrixC (1:NXmax,1:MTmax,1:JMAX)
  INTEGER nx,j,mt
  DO nx=1,NXmax
    DO j=1,JMAX
      DO mt=1,MTmax
        MatrixC (nx,mt,j)=0.0D+0
      ENDDO
    ENDDO
  ENDDO
  RETURN
  END
CCCCC+++++
SUBROUTINE VDinit (VektorD,ZEITM,NXmax,JMAX,NSMAX)
  REAL*8 VektorD
  DIMENSION VektorD (1:NXmax,1:JMAX)
  REAL*8 ZEITM

```

```

DIMENSION ZEITM(1:JMAX)
INTEGER NXmax,JMAX,NSMAX
  INTEGER nx,j,ns
DO nx=1,NXmax
DO j=1,JMAX
  VektorD(nx,j)=0.0D+0
  IF (j .eq. 1) THEN
    IF (nx .EQ. 1) VektorD(nx,j)=3.0D+0/2.0D+0
    IF (nx .EQ. 2) VektorD(nx,j)=1.0D+0
  ENDIF
ENDDO
ENDDO
RETURN
END

CCCCC+++++
SUBROUTINE SVectX(VektorX,MatrixC,VekTET,VektorD,
                  NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,ns)
REAL*8 VektorX,MatrixC,VekTET,VektorD
DIMENSION VektorX(1:NXmax,1:JMAX,0:NSMAX+1)
DIMENSION MatrixC(1:NXmax,1:MTmax,1:JMAX)! Matrix C
DIMENSION VekTET(1:MTmax,0:NSMAX+1)
DIMENSION VektorD(1:NXmax,1:JMAX)
INTEGER NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,ns
  INTEGER nx,mt,j
  REAL*8 RY1
DO nx=1,NXmax
DO j=1,JMAX
  RY1=VektorD(nx,j)
DO mt=1,MTmax
  RY1=RY1+MatrixC(nx,mt,j)*VekTET(mt,ns)
ENDDO
  VektorX(nx,j,ns)=RY1
ENDDO
ENDDO
RETURN
END

CCCCC+++++
FUNCTION VEKTF1(VekTET,VektorX,T,
               NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,is) ! f1
REAL*8 VEKTF1
REAL*8 VekTET,VektorX,T
DIMENSION VekTET(1:MTmax,0:NSMAX+1)

```



```

        DIMENSION VektorX(1:NXmax,1:JMAX,0:NSMAX+1)
        INTEGER NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,is
        VEKTF1=VektTET(1,is)*VektorX(2,j,is)
        RETURN
    END

CCCCC+++++
    FUNCTION VEKTF2(VektTET,VektorX,T,
                   NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,is)
    REAL*8 VEKTF2
    REAL*8 VektTET,VektorX,T
        DIMENSION VektTET(1:MTmax,0:NSMAX+1)
        DIMENSION VektorX(1:NXmax,1:JMAX,0:NSMAX+1)
        INTEGER NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,is
        VEKTF2=VektTET(2,is)*VektorX(1,j,is)+VektTET(3,is)*VektorX(2,j,is)
        +DCOS(T)
        RETURN
    END

CCCCC+++++
    FUNCTION dF1dX1(VektTET,VektorX,T,
                   NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,is)
    REAL*8 dF1dX1
    REAL*8 VektTET,VektorX,T
        DIMENSION VektTET(1:MTmax,0:NSMAX+1)
        DIMENSION VektorX(1:NXmax,1:JMAX,0:NSMAX+1)
        INTEGER NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,is
        dF1dX1=0.0D+0
        RETURN
    END

CCCCC+++++
    FUNCTION dF1dX2(VektTET,VektorX,T,
                   NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,is)
    REAL*8 dF1dX2
    REAL*8 VektTET,VektorX,T
        DIMENSION VektTET(1:MTmax,0:NSMAX+1)
        DIMENSION VektorX(1:NXmax,1:JMAX,0:NSMAX+1)
        INTEGER NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,is
        dF1dX2=VektTET(1,is)
        RETURN
    END

CCCCC+++++
    FUNCTION dF2dX1(VektTET,VektorX,T,
                   NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,is)

```

```

REAL*8 dF2dX1
REAL*8 VektTET,VektorX,T
  DIMENSION VektTET(1:MTmax,0:NSMAX+1)
  DIMENSION VektorX(1:NXmax,1:JMAX,0:NSMAX+1)
  INTEGER NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,is
dF2dX1=VektTET(2,is)
RETURN
END
CCCCC+++++
FUNCTION dF2dX2(VektTET,VektorX,T,
               NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,is)
REAL*8 dF2dX2
REAL*8 VektTET,VektorX,T
  DIMENSION VektTET(1:MTmax,0:NSMAX+1)
  DIMENSION VektorX(1:NXmax,1:JMAX,0:NSMAX+1)
  INTEGER NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,is
dF2dX2=VektTET(3,is)
RETURN
END
CCCCC+++++
FUNCTION dF1dT1(VektTET,VektorX,T,NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,is)
REAL*8 dF1dT1
REAL*8 VektTET,VektorX,T
  DIMENSION VektTET(1:MTmax,0:NSMAX+1)
  DIMENSION VektorX(1:NXmax,1:JMAX,0:NSMAX+1)
  INTEGER NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,is
dF1dT1=VektorX(2,j,is)
RETURN
END
CCCCC+++++
FUNCTION dF1dT2(VektTET,VektorX,T,NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,is)
REAL*8 dF1dT2
REAL*8 VektTET,VektorX,T
  DIMENSION VektTET(1:MTmax,0:NSMAX+1)
  DIMENSION VektorX(1:NXmax,1:JMAX,0:NSMAX+1)
  INTEGER NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,is
dF1dT2=0.0D+0
RETURN
END
CCCCC+++++
FUNCTION dF1dT3(VektTET,VektorX,T,NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,is)
REAL*8 dF1dT3

```

```

REAL*8 VektTET,VektorX,T
DIMENSION VektTET(1:MTmax,0:NSMAX+1)
DIMENSION VektorX(1:NXmax,1:JMAX,0:NSMAX+1)
INTEGER NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,is
dF1dT3=0.0D+0
RETURN
END
CCCCC+++++
FUNCTION dF2dT1(VektTET,VektorX,T,NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,is)
REAL*8 dF2dT1
REAL*8 VektTET,VektorX,T
DIMENSION VektTET(1:MTmax,0:NSMAX+1)
DIMENSION VektorX(1:NXmax,1:JMAX,0:NSMAX+1)
INTEGER NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,is
dF2dT1=0.0D+0
RETURN
END
CCCCC+++++
FUNCTION dF2dT2(VektTET,VektorX,T,NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,is)
REAL*8 dF2dT2
REAL*8 VektTET,VektorX,T
DIMENSION VektTET(1:MTmax,0:NSMAX+1)
DIMENSION VektorX(1:NXmax,1:JMAX,0:NSMAX+1)
INTEGER NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,is
dF2dT2=VektorX(1,j,is)
RETURN
END
CCCCC+++++
FUNCTION dF2dT3(VektTET,VektorX,T,NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,is)
REAL*8 dF2dT3
REAL*8 VektTET,VektorX,T
DIMENSION VektTET(1:MTmax,0:NSMAX+1)
DIMENSION VektorX(1:NXmax,1:JMAX,0:NSMAX+1)
INTEGER NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,is
dF2dT3=VektorX(2,j,is)
RETURN
END
CCCCC+++++
SUBROUTINE GAUSS(N,A,B,X) ! AX=B, RAZM A=N*N
INTEGER N
REAL*8 A,B,X
DIMENSION A(N,N),B(N),X(N)

```

```

REAL*8 MAX,C,D,S
  INTEGER K,L,I,J
  DO 5 K=1,N-1
    L=K
    MAX=DABS(A(K,K))
    DO 25 I=K+1,N
      IF(MAX .LT. DABS(A(I,K))) THEN
        L=I
        MAX=A(I,K)
      ENDIF
25  CONTINUE
  IF(L .EQ. K) GOTO 35
  DO 30 J=K,N
    C=A(K,J)
    A(K,J)=A(L,J)
    A(L,J)=C
30  CONTINUE
  C=B(K)
  B(K)=B(L)
  B(L)=C
35  DO 40 I=K+1,N
    D=A(I,K)/A(K,K)
    A(I,K)=0.0
    DO 45 J=K+1,N
      A(I,J)=A(I,J)-D*A(K,J)
45  CONTINUE
  B(I)=B(I)-D*B(K)
40  CONTINUE
  5  CONTINUE
  X(N)=B(N)/A(N,N)
  DO 55 I=N-1,1,-1
    S=0.0
    DO 50 J=I+1,N
      S=S+A(I,J)*X(J)
50  CONTINUE
  X(I)=(B(I)-S)/A(I,I)
55  CONTINUE
  RETURN
  END
CCCCC+++++
SUBROUTINE EUFORC(MatrixC,dFIdXJ,dFIdTJ,DELTT,NXmax,MTmax,
                JMAX,NSMAX,j,ns)

```

```

REAL*8 MatrixC,dFidXJ,dFidTJ,DELTT
DIMENSION MatrixC(1:NXmax,1:MTmax,1:JMAX)
DIMENSION dFidXJ(1:NXmax,1:NXmax,1:JMAX,0:NSMAX+1)
DIMENSION dFidTJ(1:NXmax,1:MTmax,1:JMAX,0:NSMAX+1)
  INTEGER NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,ns
  INTEGER nx,mt,nxr
  REAL*8 PR0,PR1
  DIMENSION PR0(1:NXmax,1:MTmax),PR1(1:NXmax,1:MTmax)
DO nx=1,NXmax
  DO mt=1,MTmax
    PR0(nx,mt)=dFidTJ(nx,mt,j-1,ns)
    DO nxr=1,NXmax
PR0(nx,mt)=PR0(nx,mt)+dFidXJ(nx,nxr,j-1,ns)*MatrixC(nxr,mt,j-1)
    ENDDO
MatrixC(nx,mt,j)=MatrixC(nx,mt,j-1)+PR0(nx,mt)*DELTT
  ENDDO
ENDDO
  DO nx=1,NXMAX
  DO mt=1,MTmax
    PR1(nx,mt)=dFidTJ(nx,mt,j,ns)
    DO nxr=1,NXmax
PR1(nx,mt)=PR1(nx,mt)+dFidXJ(nx,nxr,j,ns)*MatrixC(nxr,mt,j)
    ENDDO
MatrixC(nx,mt,j)=MatrixC(nx,mt,j-1)+
    0.5D+0*(PR0(nx,mt)+PR1(nx,mt))*DELTT
  ENDDO
ENDDO
RETURN
END
CCCCC+++++
SUBROUTINE EUFORD(VektorD,dFidXJ,dFidTJ,VEKTFI,VekTET,VektorX,
  DELTT,NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,ns)
REAL*8 VektorD,dFidXJ,dFidTJ,VEKTFI,VekTET,VektorX,DELTT
DIMENSION VektorD(1:NXmax,1:JMAX)
DIMENSION dFidXJ(1:NXmax,1:NXmax,1:JMAX,0:NSMAX+1)
DIMENSION dFidTJ(1:NXmax,1:MTmax,1:JMAX,0:NSMAX+1)
DIMENSION VEKTFI(1:NXmax,1:JMAX,0:NSMAX+1)
DIMENSION VekTET(1:MTmax,0:NSMAX)
DIMENSION VektorX(1:NXmax,1:JMAX,0:NSMAX+1)
INTEGER NXmax,MTmax,JMAX,NSMAX,j,ns
  INTEGER nx,nxr,mtr
  REAL*8 PR0,PR1

```

```

        DIMENSION PR0 (1:NXmax) , PR1 (1:NXmax)
    DO nx=1, NXMAX
        PR0 (nx) =VEKTFI (nx, j-1, ns)
        DO nxr=1, NXmax
    PR0 (nx) =PR0 (nx) +dFIdXJ (nx, nxr, j-1, ns) *
        (VektorD (nxr, j-1) -VektorX (nxr, j-1, ns) )
        ENDDO
        DO mtr=1, MTmax
    PR0 (nx) =PR0 (nx) -dFIdTJ (nx, mtr, j-1, ns) *VekTET (mtr, ns)
        ENDDO
    VektorD (nx, j) =VektorD (nx, j-1) +PR0 (nx) *DELTT
        ENDDO
    DO nx=1, NXMAX
        PR1 (nx) =VEKTFI (nx, j, ns)
        DO nxr=1, NXmax
    PR1 (nx) =PR1 (nx) +dFIdXJ (nx, nxr, j, ns) *
        (VektorD (nxr, j) -VektorX (nxr, j, ns) )
        ENDDO
        DO mtr=1, MTmax
    PR1 (nx) =PR1 (nx) -dFIdTJ (nx, mtr, j, ns) *VekTET (mtr, ns)
        ENDDO
    VektorD (nx, j) =VektorD (nx, j-1) +0.5D+0* (PR0 (nx) +PR1 (nx) ) *DELTT
        ENDDO
    RETURN
    END
CCCCC+++++
SUBROUTINE SYGROS (YGROS, VectorY, MatrixA, VektorD, KYmax, NXmax, JMAX)
    REAL*8 YGROS, VectorY, MatrixA, VektorD
    DIMENSION YGROS (1:KYmax, 1:JMAX)
    DIMENSION VectorY (1:KYmax, 1:JMAX )
    DIMENSION MatrixA (1:KYmax, 1:NXmax)
    DIMENSION VektorD (1:NXmax, 1:JMAX)
    INTEGER KYmax, NXmax, JMAX, ky, j, nx
        REAL*8 RY1
    DO ky=1, KYmax
        DO j=1, JMAX
            RY1=0.0D+0
            DO nx=1, NXmax
                RY1=RY1+MatrixA (ky, nx) *VektorD (nx, j)
            ENDDO
            YGROS (ky, j) =VectorY (ky, j) -RY1
        ENDDO
    ENDDO

```

```

        ENDDO
    RETURN
    END
CCCCC+++++
SUBROUTINE SMatrAC (MatrAC,MatrixA,MatrixC,KYmax,MTmax,NXmax,JMAX)
    REAL*8 MatrAC,MatrixA,MatrixC
    DIMENSION MatrAC(1:KYmax,1:MTmax,1:JMAX)
    DIMENSION MatrixA(1:KYmax,1:NXmax)
    DIMENSION MatrixC(1:NXmax,1:MTmax,1:JMAX)
    INTEGER KYmax,MTmax,NXmax,JMAX,ky,j,nx
        REAL*8 RY1
    DO ky=1,KYmax
        DO mt=1,MTmax
            DO j=1,JMAX
                RY1=0.0D+0
                DO nx=1,NXmax
                    RY1=RY1+MatrixA(ky,nx)*MatrixC(nx,mt,j)
                ENDDO
                MatrAC(ky,mt,j)=RY1
            ENDDO
        ENDDO
    ENDDO
RETURN
END
CCCCC+++++
SUBROUTINE SMATRINF (MATRINF,MatrAC,KYmax,MTmax,JMAX)
    REAL*8 MATRINF,MatrAC
    DIMENSION MATRINF(1:MTmax,1:MTmax)
    DIMENSION MatrAC(1:KYmax,1:MTmax,1:JMAX)
    INTEGER KYmax,MTmax,JMAX,q,r,p,j
        REAL*8 RY1
    DO q=1,MTmax
        DO r=1,MTmax
            RY2=0.0D+0
            DO p=1,KYmax
                RY1=0.0D+0
                DO j=1,JMAX
                    RY1=RY1+MatrAC(p,q,j)*MatrAC(p,r,j)
                ENDDO
            RY2=RY2+RY1
        ENDDO
        MATRINF(q,r)=RY2
    ENDDO

```

```

        ENDDO
    ENDDO
RETURN
END
CCCCC+++++
SUBROUTINE SYY (YY, MatrAC, YGROS, KYmax, MTmax, JMAX)
REAL*8 YY, MatrAC, YGROS
DIMENSION YY (1:MTmax)
DIMENSION MatrAC (1:KYmax, 1:MTmax, 1:JMAX)
DIMENSION YGROS (1:KYmax, 1:JMAX)
INTEGER KYmax, MTmax, JMAX, r, p, j
    REAL*8 RY1
    DO r=1, MTmax
        RY2=0.0D+0
        DO p=1, KYmax
            RY1=0.0D+0
            DO j=1, JMAX
                RY1=RY1+MatrAC (p, r, j) *YGROS (p, j)
            ENDDO
            RY2=RY2+RY1
        ENDDO
        YY (r) =RY2
    ENDDO
RETURN
END
CCCCC+++++

```

В заключение отметим, что не составит большого труда реализовать аналогичный алгоритм расчета с помощью современных пакетов прикладных программ. Приведенная программа может быть легко переработана с целью выполнения всех заданий для самостоятельной работы, приведенных в пособии далее.

3 ИДЕНТИФИКАЦИЯ НАЧАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ И ПАРАМЕТРОВ НЕЛИНЕЙНЫХ СТАЦИОНАРНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ МЕТОДОМ КВАЗИЛИНЕАРИЗАЦИИ

Рассмотрим основные положения метода квазилинеаризации для идентификации параметров и начального состояния, описанные, например, в работе [1]. Метод, который предложили Р. Беллман и Р. Калаба, основан на сведении нелинейной краевой задачи к линейной нестационарной задаче. Предполагается, что параметры идентифицируемой системы постоянны, по крайней мере в течение времени идентификации. Как и для большинства методов линеаризации, не только скорость сходимости решения, но и успех решения задачи вообще существенно зависят от выбора начального приближения для идентифицируемых параметров. Вид нелинейных уравнений идентифицируемой системы должен быть априорно известным. Вид этих уравнений выбирается на этапе выдвижения гипотез о законе функционирования моделируемой системы.

3.1 Постановка задачи

Рассмотрим случай, когда закон функционирования изучаемого объекта (например, системы управления) описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка следующего вида:

$$\dot{\vec{x}}(t) = \vec{f}(t, \vec{x}(t), \vec{u}(t), \vec{\theta}), \quad t \in (t^{(0)}, T). \quad (3.1)$$

Здесь t – время, $\vec{f} = \vec{f}(t, \vec{x}(t), \vec{u}(t), \vec{\theta}) = \{f_1(t, \vec{x}(t), \vec{u}(t), \vec{\theta}), \dots, f_n(t, \vec{x}(t), \vec{u}(t), \vec{\theta})\}$ – нелинейная векторная функция заданного вида с неизвестными параметрами (то есть вид функции для каждой компоненты этого вектора известен), $\vec{\theta} = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m\}$ – вектор параметров системы, которые требуется идентифицировать, $\vec{x} = \vec{x}(t) = \{x_1(t), \dots, x_n(t)\}$ – измеряемый

вектор состояний системы, $\vec{u} = \vec{u}(t) = \{u_1(t), \dots, u_l(t)\}$ – также измеряемый вектор внешних воздействий (управления).

Кроме уравнения состояния (3.1) должно быть задано уравнение выходов. Обычно это система линейных алгебраических уравнений, которую запишем в виде:

$$\vec{y}(t) = C\vec{x}(t), \quad (3.2)$$

где вектор $\vec{y} = \vec{y}(t) = \{y_1(t), \dots, y_k(t)\}$ – вектор измеряемого выходного сигнала,

$C = \begin{pmatrix} C_{11} & \dots & C_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ C_{k1} & \dots & C_{kn} \end{pmatrix}$ – заданная матрица коэффициентов.

Из теории дифференциальных уравнений мы знаем, что для решения уравнений (3.1) необходимо задать соответствующие начальные условия. Однако задачи идентификации, в частности, отличаются тем, что начальные условия, вообще говоря, неизвестны, так как момент времени начала измерений с целью идентификации не совпадает с моментом начала функционирования системы. Одной из очень привлекательных сторон метода квазилинеаризации является то, что вопрос о восстановлении начальных условий решается в соответствии с общим алгоритмом решения задачи идентификации.

В скалярной форме уравнение (3.1) имеет вид:

$$\dot{x}_i = f_i(t, \vec{x}, \vec{u}, \vec{\theta}), \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad t \in (t^{(0)}, T). \quad (3.3)$$

Еще m дополнительных ограничений получают из условия стационарности идентифицируемых параметров, что дает следующие уравнения для ограничений:

$$\dot{\theta} = 0, \quad (3.4)$$

или в скалярной форме:

$$\dot{\theta}_i = 0, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (3.5)$$

Системы уравнений (3.1), (3.4) можно объединить и записать в виде:

$$\dot{\vec{z}}(t) = \vec{\Psi}(t, \vec{z}(t), \vec{u}(t)). \quad (3.6)$$

Вектор $\vec{z}(t)$ в этом уравнении представляет собой объединение векторов $\vec{x}(t) = \{x_1(t), \dots, x_n(t)\}$ и $\vec{\theta} = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m\}$:

$$\vec{z} = \vec{z}(t) = \{z_1(t), \dots, z_n(t), z_{n+1}, \dots, z_{n+m}\} = \{x_1(t), \dots, x_n(t), \theta_1, \dots, \theta_m\}. \quad (3.7)$$

Аналогичным образом вектор $\vec{\Psi}$ в правой части уравнения (3.6) представляет собой объединение векторов правых частей систем уравнений (3.1), (3.4):

$$\begin{aligned} \vec{\Psi} = \vec{\Psi}(t, \vec{z}(t), \vec{u}(t)) &= \{\psi_1(t, \vec{z}(t), \vec{u}(t)), \dots, \psi_n(t, \vec{z}(t), \vec{u}(t)), \psi_{n+1}, \dots, \psi_{n+m}\} = \\ &= \{f_1(t, \vec{x}, \vec{u}, \vec{\theta}), \dots, f_n(t, \vec{x}, \vec{u}, \vec{\theta}), 0, \dots, 0\}. \end{aligned} \quad (3.8)$$

Уравнение выходов (3.2) теперь запишем в виде:

$$\vec{y}(t) = \bar{A}\vec{z}(t), \quad (3.9)$$

где $\bar{A} = \begin{pmatrix} \bar{A}_{11} & \dots & \bar{A}_{1n+m} \\ \dots & \dots & \dots \\ \bar{A}_{k1} & \dots & \bar{A}_{kn+m} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{11} & \dots & C_{1n} & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_{k1} & \dots & C_{kn} & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix}$ – заданная матрица ко-

эффициентов.

Теперь рассмотрим следующую задачу:

По результатам измерений в дискретном наборе точек на оси времени

$$t^{(j)} = T^{(0)} + \Delta T(j-1), \quad \Delta T = \frac{T - T^{(0)}}{N-1}, \quad j = 1, 2, \dots, N, \quad (3.10)$$

входного $\vec{u}(t^{(j)})$ и выходного $\vec{y}(t^{(j)})$ сигналов идентифицировать значения переменных состояния $\vec{x}(t^{(j)})$ (в том числе начальные условия) и неизвестные коэффициенты $\vec{\theta}$ для системы с нелинейным законом функционирования:

$$\dot{\vec{z}}(t) = \vec{\Psi}(t, \vec{z}(t), \vec{u}(t)) \quad (3.11)$$

и линейным алгебраическим уравнением выходов:

$$\vec{y}(t) = \bar{A}\vec{z}(t). \quad (3.12)$$

Здесь и далее верхний индекс, взятый в скобки, используется для указания номера точки на оси времени. Одновременно его можно рассматривать и как номер измерения. Момент времени $T^{(0)}$ здесь будем рассматривать как момент начала измерений, и этот момент времени отличается от момента начала функционирования системы $t^{(0)}$, когда задаются начальные условия.

3.2 Описание алгоритма идентификации параметров и начального состояния нелинейных систем методом квазилинеаризации

Рассмотрим последовательность шагов идентификации параметров и начального состояния системы с математической моделью вида (3.11), (3.12) методом квазилинеаризации.

1. Будем считать, что на начальном этапе задана некоторая исходная оценка параметров модели и вектора переменных состояния, т. е. задано нулевое приближение для вектора $\bar{z}^0(t) = \bar{z}^{In}(t)$, которые обозначим соответственно:

$$\begin{aligned} \bar{z}^0(t) &= \{z_1^0(t), \dots, z_n^0(t), z_{n+1}^0, \dots, z_{n+m}^0\} = \{x_1^0(t), \dots, x_n^0(t), \theta_1^0, \dots, \theta_m^0\} = \\ &= \{x_1^{In}(t), \dots, x_n^{In}(t), \theta_1^{In}, \dots, \theta_m^{In}\}. \end{aligned} \quad (3.13)$$

Здесь и далее верхний индекс без скобок указывает номер итерации в процедуре последовательного уточнения переменных состояния и параметров модели.

За неимением лучшего в качестве исходной оценки вектора параметров зачастую выбирается нулевая оценка:

$$\bar{\theta}^0 = \{\theta_1^0, \dots, \theta_m^0\} = \{\theta_1^{In}, \dots, \theta_m^{In}\} = \{0, \dots, 0\}. \quad (3.14)$$

Для вектора переменных состояния в этом случае начальная оценка также может быть получена относительно просто, т. к. если $\bar{\theta}^0 = 0$, то уравнения (3.11) легко интегрируются.

2. Теперь рассмотрим общий случай, считая, что известна некоторая оценка вектора $\vec{z}^s = \vec{z}^s(t)$ в некотором приближении с номером (s) . Тогда оценку этого вектора в следующем приближении $(s+1)$ можно получить, используя разложение правой части уравнения (3.11) в ряд Тейлора в окрестности известной оценки $\vec{z}^s = \vec{z}^s(t)$. Ограничиваясь только линейными членами ряда, от уравнения (3.11) приходим к следующему:

$$\dot{\vec{z}}^{s+1}(t) = \vec{\Psi}(t, \vec{z}^{s+1}(t), \vec{u}(t)) = \vec{\Psi}(t, \vec{z}^s(t), \vec{u}(t)) + \left(\frac{\partial \vec{\Psi}}{\partial \vec{z}} \right)^s (\vec{z}^{s+1}(t) - \vec{z}^s(t)). \quad (3.15)$$

Здесь квадратная матрица $\left(\frac{\partial \vec{\Psi}}{\partial \vec{z}} \right)^s$ имеет вид:

$$\left(\frac{\partial \vec{\Psi}}{\partial \vec{z}} \right)^s = \left(\frac{\partial \vec{\Psi}}{\partial \vec{z}} \right) \Big|_{\vec{z}=\vec{z}^s} = \begin{pmatrix} \frac{\partial \psi_1}{\partial z_1} & \dots & \frac{\partial \psi_1}{\partial z_{n+m}} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial \psi_{n+m}}{\partial z_1} & \dots & \frac{\partial \psi_{n+m}}{\partial z_{n+m}} \end{pmatrix} \Big|_{\vec{z}=\vec{z}^s} = \begin{pmatrix} \frac{\partial \psi_1}{\partial z_1} & \dots & \frac{\partial \psi_1}{\partial z_{n+m}} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial \psi_n}{\partial z_1} & \dots & \frac{\partial \psi_n}{\partial z_n} \\ 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 \end{pmatrix}. \quad (3.16)$$

Наряду с этой матрицей целесообразно определить следующую матрицу:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial \vec{f}}{\partial \vec{z}} \right)^s &= \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial z_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial z_{n+m}} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_n}{\partial z_1} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial z_{n+m}} \end{pmatrix} \Big|_{\vec{z}=\vec{z}^s} = \left(\frac{\partial \vec{f}}{\partial \vec{x}}, \frac{\partial \vec{f}}{\partial \vec{\theta}} \right)^s = \\ &= \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} & \frac{\partial f_1}{\partial \theta_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial \theta_m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} & \frac{\partial f_n}{\partial \theta_1} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial \theta_m} \end{pmatrix} \Big|_{\substack{\vec{x}=\vec{x}^s, \\ \vec{\theta}=\vec{\theta}^s}}. \end{aligned} \quad (3.17)$$

В результате этих преобразований произошло одно существенное изменение задачи: на каждом шаге итерационного процесса уравнение (3.15) линейно относительно уточненной оценки $\vec{z}^{s+1}(t)$ вектора $\vec{z}(t)$.

Уравнение (3.15) теперь запишем в виде:

$$\dot{\vec{z}}^{s+1}(t) = \left(\frac{\partial \bar{\Psi}}{\partial \vec{z}} \right)^s \vec{z}^{s+1}(t) + \vec{V}^s(t). \quad (3.18)$$

Вектор $\vec{V}^s(t)$ в этом уравнении определен следующим образом:

$$\vec{V}^s(t) = \bar{\Psi}^s(t, \vec{z}^s(t), \vec{u}(t)) - \left(\frac{\partial \bar{\Psi}}{\partial \vec{z}} \right)^s \vec{z}^s(t). \quad (3.19)$$

3. Теперь рассмотрим решение уравнения (3.18). Уравнения (3.18), в отличие от исходных уравнений (1), представляют собой линейную систему обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка. Как известно, решение такой системы можно записать в виде:

$$\vec{z}^{s+1}(t) = \Phi^s(t, t^{(0)}) \vec{z}^{s+1}(t^{(0)}) + \vec{P}^s(t), \quad (3.20)$$

где $\Phi^s(t, t^{(0)})$ – матрица Коши, которая определяет общее решение однородного уравнения для системы (3.18), а $\vec{P}^s(t)$ – частное решение этой системы.

Вектор $\vec{z}^{s+1}(t^{(0)})$ определяет начальное состояние системы (начальные условия) и является неизвестной величиной в рассматриваемой задаче.

Матрица Коши для задачи (3.18) удовлетворяет уравнению

$$\dot{\Phi}^s(t, t^{(0)}) = \left(\frac{\partial \bar{\Psi}}{\partial \vec{z}} \right)^s \Phi^s(t, t^{(0)}), \quad (3.21)$$

при начальных условиях

$$\Phi^s(t^{(0)}, t^{(0)}) = E. \quad (3.22)$$

Частное решение уравнения (3.18) $\vec{P}^s(t)$ удовлетворяет уравнению:

$$\dot{\vec{P}}^s(t) = \left(\frac{\partial \bar{\Psi}}{\partial \vec{z}} \right)^s \vec{P}^s(t) + \left[\bar{\Psi}^s(t, \vec{z}^s(t), \vec{u}(t)) - \left(\frac{\partial \bar{\Psi}}{\partial \vec{z}} \right)^s \vec{z}^s(t) \right], \quad (3.23)$$

при начальных условиях

$$\vec{P}^s(t^{(0)}) = 0. \quad (3.24)$$

Таким образом, на этом этапе задача идентификации свелась к поиску решения уравнений (3.18) в виде (3.20). Для этого требуется найти матрицу Коши $\Phi^s(t, t^{(0)})$ и частное решение $\vec{P}^s(t)$. В принципе эти решения могут быть найдены аналитическими методами. Это не слишком удобно, так как процедуру поиска аналитического решения придется повторять на каждом шаге итерационного процесса, причем вид решения может существенно меняться. Уравнения (3.21), (3.23) при заданных начальных условиях (3.22), (3.24) замечательны тем, что на каждом шаге итерационного процесса при известном начальном приближении $\vec{z}^s(t)$ они могут быть относительно просто решены численными методами, например по схеме Эйлера с пересчетом [4]. Решая эти задачи для дискретного набора равноотстоящих узлов на оси времени, на основании формулы (3.20) получим следующие формулы для расчета уточненной оценки вектора \vec{z}^{s+1} :

$$\vec{z}^{s+1}(t^{(j)}) = \Phi^s(t^{(j)}, t^{(0)}) \vec{z}^{s+1}(t^{(0)}) + \vec{P}^s(t^{(j)}). \quad (3.25)$$

При численном решении уравнений (3.21), (3.23) необходимо помнить, что измерения, как правило, проводятся позднее, чем начинается функционирование системы, $t^{(0)} \leq T^{(0)}$. Поэтому потребуется выполнить расчет матриц $\Phi^s(t^{(j)}, t^{(0)})$ и вектора $\vec{P}^s(t^{(j)})$ во всех узлах интервала времени $(t^{(0)}, T^{(0)})$, предшествовавших моменту $T^{(0)}$ начала измерений. Шаг Δt по времени при численном решении уравнений (3.21), (3.23) определяется условиями достижения заданной точности расчета, а значит, в общем случае не будет совпадать с шагом $\Delta T = (T - T^{(0)}) / (N - 1)$ выполнения

измерений. Поэтому может потребоваться дополнительная процедура совмещения узлов на временной оси, в которых выполнялись измерения и узлов, для которых получается решение уравнений (3.21), (3.23). При записи формулы (3.25) принято, что эта чисто техническая проблема каким-то образом решена.

Таким образом, основным результатом этого этапа является запись решения для уравнения состояния (3.15) в виде (3.25). При этом матрица Коши $\Phi^s(t^{(j)}, t^{(0)})$ и вектор $\vec{P}^s(t^{(j)})$ в этой формуле известны, а неизвестной величиной остается уточненная оценка вектора $\vec{z}^{s+1}(t^{(0)})$ – начального состояния и параметров системы. Заметим, что матрица $\Phi^s(t^{(j)}, t^{(0)})$ и вектор $\vec{P}^s(t^{(j)})$ по предположению найдены в те же моменты времени, когда выполнялись измерения выходного сигнала.

Следует также обратить внимание на то, что в матрице $\left(\frac{\partial \bar{\Psi}}{\partial \vec{z}}\right)^s$ элементы строк с номерами $i = n + 1, n + 2, \dots, n + m$ равны нулю (см. формулы (3.16)). Анализируя соответствующие уравнения в системах (3.21), (3.23), нетрудно увидеть, что в результате для компонент вектора $z_{n+1}^{s+1} = \theta_1^{s+1}, \dots, z_{n+m}^{s+1} = \theta_m^{s+1}$ формула (3.25) сводится к равенству:

$$z_i^{s+1}(t^{(j)}) = z_i^{s+1}(t^{(0)}), \quad i = n + 1, \dots, n + m. \quad (3.26)$$

Это означает, что можно соответствующие строки матрицы Коши $\Phi^s(t^{(j)}, t^{(0)})$ и элементы вектора $\vec{P}^s(t^{(j)})$ на данном этапе можно не рассматривать и упростить запись формул, необходимых для дальнейшего анализа задачи.

Введем матрицу $C^s(t^{(j)}, t^{(0)})$ следующим образом:

$$\begin{aligned}
C^s(t^{(j)}, t^{(0)}) = (C_{pq}^s) &= \begin{pmatrix} C_{11}^s(t^{(j)}) & \dots & C_{1n+m}^s(t^{(j)}) \\ \dots & \dots & \dots \\ C_{nn+m}^s(t^{(j)}) & \dots & C_{nn+m}^s(t^{(j)}) \end{pmatrix} = \\
&= \begin{pmatrix} \Phi_{11}^s(t^{(j)}, t^{(0)}) & \dots & \Phi_{1n+m}^s(t^{(j)}, t^{(0)}) \\ \dots & \dots & \dots \\ \Phi_{n1}^s(t^{(j)}, t^{(0)}) & \dots & \Phi_{nn+m}^s(t^{(j)}, t^{(0)}) \end{pmatrix}.
\end{aligned} \tag{3.27}$$

Подобным же образом введем вектор $\vec{D}^s(t^{(j)})$:

$$\vec{D}^s(t^{(j)}) = \{D_1^s(t^{(j)}), \dots, D_n^s(t^{(j)})\} = \{P_1^s(t^{(j)}), \dots, P_n^s(t^{(j)})\}. \tag{3.28}$$

С учетом этих обозначений для компонент вектора $\vec{x}(t) = \{x_1(t), \dots, x_n(t)\}$ формулу (3.25) можно записать в виде:

$$\vec{x}^{s+1}(t^{(j)}) = C^s(t^{(j)}, t^{(0)})\vec{z}^{s+1}(t^{(0)}) + \vec{D}^s(t^{(j)}). \tag{3.29}$$

Таким образом, основным результатом этого этапа решения задачи идентификации является формула решения вида (3.29), в которой неизвестным является вектор $\vec{z}^{s+1}(t^{(0)})$.

4. Теперь можно записать систему уравнений, которая позволяет найти вектор $\vec{z}^{s+1}(t^{(0)})$ по результатам измерений выходного сигнала. С этой целью подставим формулу (3.29) в алгебраическое уравнение выходов (3.2) и результат запишем в виде:

$$F^{(j)}\vec{z}^{s+1}(t^{(0)}) = \vec{Y}^{(j)}, \quad j = 1, 2, \dots, N. \tag{3.30}$$

Матрица $F^{(j)}$ в этой формуле определена выражением

$$\begin{aligned}
F^{(j)} = CC^s(t^{(j)}, t^{(0)}) &= \begin{pmatrix} C_{11} & \dots & C_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ C_{k1} & \dots & C_{kn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_{11}^s(t^{(j)}) & \dots & C_{1n+m}^s(t^{(j)})(t^{(j)}) \\ \dots & \dots & \dots \\ C_{n1}^s(t^{(j)}) & \dots & C_{m+m}^s(t^{(j)}) \end{pmatrix} = \\
&= \begin{pmatrix} F_{11}^{(j)} & \dots & F_{1n+m}^{(j)} \\ \dots & \dots & \dots \\ F_{k1}^{(j)} & \dots & F_{kn+m}^{(j)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{q=1}^n C_{1q} C_{q1}^s(t^{(j)}) & \dots & \sum_{q=1}^n C_{1q} C_{qn+m}^s(t^{(j)}) \\ \dots & \dots & \dots \\ \sum_{q=1}^n C_{kq} C_{q1}^s(t^{(j)}) & \dots & \sum_{q=1}^n C_{kq} C_{qn+m}^s(t^{(j)}) \end{pmatrix}.
\end{aligned} \tag{3.31}$$

Вектор $\vec{Y}^{(j)}$ в системе (3.30) вычисляется по формуле:

$$\vec{Y}^{(j)} = \vec{y}(t^{(j)}) - C\vec{D}^s(t^{(j)}). \tag{3.32}$$

Таким образом, задача получения уточненной оценки начального состояния и параметров системы $\vec{z}^{s+1}(t^{(0)})$ свелась к необходимости удовлетворить множеству матричных уравнений вида (3.30) для каждой точки на оси времени. Ясно, что уравнения (3.30) могут иметь единственное решение или же множество решений. В таких условиях необходим критерий для выбора наилучшего решения задачи.

5. Для получения в этих условиях оценки величин $\vec{z}^{s+1}(t^{(0)})$ воспользуемся идеями метода наименьших квадратов [1–3].

Рассмотрим задачу поиска минимума функционала вида:

$$\sum_{j=1}^N \left((\vec{Y}^{(j)} - F^{(j)}\vec{\xi}^{s+1}), (\vec{Y}^{(j)} - F^{(j)}\vec{\xi}^{s+1}) \right) = J(\vec{\xi}^{s+1}) \rightarrow \min, \tag{3.33}$$

где для сокращения записи принято обозначение $\vec{\xi}^{s+1} = \vec{z}^{s+1}(t^{(0)})$.

Необходимое условие экстремума этого функционала имеет вид:

$$\delta J(\vec{\xi}^{s+1}) = 0. \tag{3.34}$$

Условие (3.34) приводит к следующей системе линейных алгебраических уравнений относительно искомой оценки $\vec{\xi}^{s+1}$:

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial}{\partial \xi_r^{s+1}} \sum_{j=1}^N \sum_{p=1}^k \left(Y_p^{(j)} - \sum_{q=1}^{n+m} F_{pq}^{(j)} \xi_q^{s+1} \right) \left(Y_p^{(j)} - \sum_{q=1}^{n+m} F_{pq}^{(j)} \xi_q^{s+1} \right) = 0 \Rightarrow \\
& \sum_{j=1}^N \sum_{p=1}^k \left(Y_p^{(j)} - \sum_{q=1}^{n+m} F_{pq}^{(j)} \xi_q^{s+1} \right) \frac{\partial}{\partial \xi_r^{s+1}} \left(Y_p^{(j)} - \sum_{q=1}^{n+m} F_{pq}^{(j)} \xi_q^{s+1} \right) = 0 \Rightarrow \\
& \sum_{j=1}^N \sum_{p=1}^k \left(Y_p^{(j)} - \sum_{q=1}^{n+m} F_{pq}^{(j)} \xi_q^{s+1} \right) \left(\frac{\partial}{\partial \xi_r^{s+1}} \sum_{q=1}^{n+m} F_{pq}^{(j)} \xi_q^{s+1} \right) = 0 \Rightarrow \quad (3.35) \\
& \sum_{j=1}^N \sum_{p=1}^k \left(Y_p^{(j)} - \sum_{q=1}^{n+m} F_{pq}^{(j)} \xi_q^{s+1} \right) F_{pr}^{(j)} = 0 \Rightarrow \\
& \sum_{q=1}^{n+m} \left(\sum_{p=1}^k \sum_{j=1}^N F_{pq}^{(j)} F_{pr}^{(j)} \right) \xi_q^{s+1} = \sum_{p=1}^k \sum_{j=1}^N F_{pr}^{(j)} Y_p^{(j)}, \quad r = 1, 2, \dots, n+m.
\end{aligned}$$

Полученную систему уравнений для получения наилучшей линейной несмещенной оценки параметров $\vec{\xi}^{s+1}$ модели запишем в виде:

$$M \vec{\xi}^{s+1} = \vec{Y}, \quad (3.36)$$

где M – квадратная симметричная относительно главной диагонали матрица размера $(n+m) \times (n+m)$ (информационная матрица), $\vec{Y} = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_{n+m}\}$ – вектор правых частей системы уравнений (3.35).

Элементы информационной матрицы M и компоненты вектора \vec{Y} вычисляются по формулам:

$$M_{qr} = M_{rq} = \sum_{p=1}^k \sum_{j=1}^N F_{pq}^{(j)} F_{pr}^{(j)}, \quad Y_r = \sum_{p=1}^k \sum_{j=1}^N F_{pr}^{(j)} Y_p^{(j)}, \quad q, r = 1, 2, \dots, n+m. \quad (3.37)$$

Система уравнений (3.36) теперь может быть решена одним из известных методов решения такого рода уравнений, в частности методом последовательного исключения Гаусса, методом последовательной регрессии [1] или каким-либо другим.

Найденное каким-либо методом решение этой системы запишем в виде:

$$\vec{\xi}^{s+1} = M^{-1} \vec{Y}. \quad (3.38)$$

Здесь волна сверху указывает на тот факт, что полученная оценка является осредненной оценкой по результатам измерений, содержащих по крайней мере случайные погрешности.

6. Заключительным этапом решения задачи идентификации является проверка выполнения условия достижения наперед заданной точности решения. Оценивая разность между двумя последовательными приближениями $\tilde{\xi}^s$ и $\tilde{\xi}^{s+1}$, необходимо принять решение либо о продолжении итерационной процедуры уточнения, либо о её прекращении. В качестве критерия для прекращения итераций можно использовать, например, условие:

$$\sqrt{\frac{\left((\tilde{x}^{s+1} - \tilde{x}^s), (\tilde{x}^{s+1} - \tilde{x}^s) \right)}{(\tilde{x}^{s+1}, \tilde{x}^{s+1})}} \leq \varepsilon, \quad (3.39)$$

где ε – наперед заданный параметр схемы, характеризующий точность решения.

Кроме критерия (3.39), чтобы избежать «зацикливания», практически всегда принято использовать и некоторое разумное ограничение количества итераций.

4 ПРИМЕР ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА КВАЗИЛИНЕАРИЗАЦИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПЕРЕМЕННЫХ СОСТОЯНИЯ И ПАРАМЕТРОВ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ

4.1 Система нелинейных уравнений с известным аналитическим решением для тестирования метода

Рассмотрим следующий пример системы с нелинейным законом функционирования, который имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = f_1(t, \bar{x}, \bar{u}, \bar{\theta}), \\ \frac{dx_2}{dt} = f_2(t, \bar{x}, \bar{u}, \bar{\theta}), \end{cases} \begin{cases} f_1(t, \bar{x}, \bar{u}, \bar{\theta}) = \theta_1 \frac{x_1}{t}, \\ f_2(t, \bar{x}, \bar{u}, \bar{\theta}) = \theta_2 \frac{x_1^2}{t} + u, \end{cases} \quad \bar{x} = \{x_1, x_2\}, \quad u = 2t, \quad \bar{\theta} = \{\theta_1, \theta_2\}. \quad (4.1)$$

Рассмотрим случай, когда параметры системы таковы:

$$\bar{\theta} = \{\theta_1, \theta_2\} = \{1, 2\}. \quad (4.2)$$

Начальные условия считаем заданными в виде:

$$\begin{cases} x_1(t^{(0)}) = 1, \quad t^{(0)} = 1, \\ x_2(t^{(0)}) = 1. \end{cases} \quad (4.3)$$

Уравнение выходов зададим в виде:

$$\bar{y} = C\bar{x}, \quad \begin{cases} y_1 = 3x_1 + 2x_2, \\ y_2 = 2x_1 + 3x_2, \end{cases} \quad C = \begin{pmatrix} 3 & 2 \\ 2 & 3 \end{pmatrix}. \quad (4.4)$$

Решение уравнений (4.1) с параметрами (4.2) при начальных условиях (4.3) имеет вид:

$$x_1 = t, \quad x_2 = (2t^2 - 1). \quad (4.5)$$

Теперь на этом примере рассмотрим основные этапы применения метода квазилинеаризации для идентификации параметров и начального состояния системы.

4.2 Применение метода квазилинеаризации для идентификации параметров и начального состояния нелинейной системы: решение тестовой задачи

Итак, пусть задана система уравнений (4.1), которая в соответствии с принятой нами гипотезой описывает закон функционирования изучаемого объекта, а также алгебраическое уравнение выходов (4.4). Пусть известно, что момент начала функционирования системы

$$t^{(0)} = 1. \quad (4.6)$$

Пусть измерения входного и выходного сигналов проводились в точках:

$$\begin{aligned} t^{(j)} \in [T^{(0)}, T], \quad T^{(0)} = t^{(0)}, \quad T = T^{(0)} + 3, \\ t^{(j)} = T^{(0)} + \frac{(T - T^{(0)})}{(N - 1)}(j - 1), \quad j = 1, 2, \dots, N = 31. \end{aligned} \quad (4.7)$$

Требуется по результатам измерений входного $u(t^{(j)})$ и выходного сигналов $\vec{y}(t^{(j)}) = \{y_1(t^{(j)}), y_2(t^{(j)})\}$, приведенным в табл. 4.1, найти параметры модели $\vec{\theta} = \{\theta_1, \theta_2, \theta_3\}$, начальные значения переменных состояния $x_1(t^{(0)})$, $x_2(t^{(0)})$, а затем и значения переменных состояния для моментов времени измерений.

В данном случае известно точное решение задачи, поэтому кроме входного и выходного сигналов в таблице 4.1 приведены и соответствующие решению (4.5) значения переменных состояния, которые потребуются в дальнейшем для оценки точности идентификации. Напомним, что точное решение этой задачи в данном случае таково:

$$\vec{\theta} = \{\theta_1, \theta_2\} = \{1, 2\}, \quad \vec{x}(t^{(0)}) = \{1, 1\}, \quad t^{(0)} = 1. \quad (4.8)$$

Таблица 4.1 – Значения компонент вектора переменных состояния и выходного сигнала

j	$t^{(j)}$	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$y_1(t)$	$y_2(t)$
1	0.1000E+01	0.1000E+01	0.1000E+01	0.5000E+01	0.5000E+01
2	0.1100E+01	0.1100E+01	0.1420E+01	0.6140E+01	0.6460E+01
3	0.1200E+01	0.1200E+01	0.1880E+01	0.7360E+01	0.8040E+01
4	0.1300E+01	0.1300E+01	0.2380E+01	0.8660E+01	0.9740E+01
5	0.1400E+01	0.1400E+01	0.2920E+01	0.1004E+02	0.1156E+02
6	0.1500E+01	0.1500E+01	0.3500E+01	0.1150E+02	0.1350E+02
7	0.1600E+01	0.1600E+01	0.4120E+01	0.1304E+02	0.1556E+02
8	0.1700E+01	0.1700E+01	0.4780E+01	0.1466E+02	0.1774E+02
9	0.1800E+01	0.1800E+01	0.5480E+01	0.1636E+02	0.2004E+02
10	0.1900E+01	0.1900E+01	0.6220E+01	0.1814E+02	0.2246E+02
11	0.2000E+01	0.2000E+01	0.7000E+01	0.2000E+02	0.2500E+02
12	0.2100E+01	0.2100E+01	0.7820E+01	0.2194E+02	0.2766E+02
13	0.2200E+01	0.2200E+01	0.8680E+01	0.2396E+02	0.3044E+02
14	0.2300E+01	0.2300E+01	0.9580E+01	0.2606E+02	0.3334E+02
15	0.2400E+01	0.2400E+01	0.1052E+02	0.2824E+02	0.3636E+02
16	0.2500E+01	0.2500E+01	0.1150E+02	0.3050E+02	0.3950E+02
17	0.2600E+01	0.2600E+01	0.1252E+02	0.3284E+02	0.4276E+02
18	0.2700E+01	0.2700E+01	0.1358E+02	0.3526E+02	0.4614E+02
19	0.2800E+01	0.2800E+01	0.1468E+02	0.3776E+02	0.4964E+02
20	0.2900E+01	0.2900E+01	0.1582E+02	0.4034E+02	0.5326E+02
21	0.3000E+01	0.3000E+01	0.1700E+02	0.4300E+02	0.5700E+02
22	0.3100E+01	0.3100E+01	0.1822E+02	0.4574E+02	0.6086E+02
23	0.3200E+01	0.3200E+01	0.1948E+02	0.4856E+02	0.6484E+02
24	0.3300E+01	0.3300E+01	0.2078E+02	0.5146E+02	0.6894E+02
25	0.3400E+01	0.3400E+01	0.2212E+02	0.5444E+02	0.7316E+02
26	0.3500E+01	0.3500E+01	0.2350E+02	0.5750E+02	0.7750E+02
27	0.3600E+01	0.3600E+01	0.2492E+02	0.6064E+02	0.8196E+02
28	0.3700E+01	0.3700E+01	0.2638E+02	0.6386E+02	0.8654E+02
29	0.3800E+01	0.3800E+01	0.2788E+02	0.6716E+02	0.9124E+02
30	0.3900E+01	0.3900E+01	0.2942E+02	0.7054E+02	0.9606E+02
31	0.4000E+01	0.4000E+01	0.3100E+02	0.7400E+02	0.1010E+03

Рассмотрим последовательность шагов по реализации метода квази-линеаризации в рассматриваемом примере.

1. На первом этапе решения задачи идентификации выбираем следующую начальную оценку $\bar{\theta}^0$ параметров модели:

$$\bar{\theta}^0 = 0. \quad (4.9)$$

Выбираем оценку начального состояния $\bar{x}^0(t^{(0)})$:

$$x_1^0(t) = 1, \quad x_2^0(t) = 1. \quad (4.10)$$

Вводим в рассмотрение вектор $\vec{z}(t)$, компоненты которого соответствуют переменным состояния и неизвестным коэффициентам модели:

$$\vec{z}(t) = \{z_1(t), z_2(t), z_3(t), z_4(t)\} = \{x_1(t), x_2(t), \theta_1, \theta_2\}. \quad (4.11)$$

В итоге имеем следующую начальную оценку вектора $\vec{z}^0(t^{(0)}) = \vec{\xi}^0$:

$$\begin{aligned} \vec{z}^0(t^{(0)}) &= \{z_1^0(t^{(0)}), z_2^0(t^{(0)}), z_3^0(t^{(0)}), z_4^0(t^{(0)})\} = \\ &= \vec{\xi}^0 = \{x_1^0(t^{(0)}), x_2^0(t^{(0)}), \theta_1^0, \theta_2^0\} = \{1, 1, 0, 0\}. \end{aligned} \quad (4.12)$$

2. Уравнения модели (4.1) и условия стационарности коэффициентов $\dot{\theta} = 0$ записываем в виде одной системы уравнений:

$$\frac{d\vec{z}}{dt} = \vec{\Psi}(t, \vec{z}, \vec{u}), \Leftrightarrow \begin{cases} \frac{dz_1}{dt} = \psi_1(t, \vec{z}, \vec{u}), \\ \frac{dz_2}{dt} = \psi_2(t, \vec{z}, \vec{u}), \\ \frac{dz_3}{dt} = \psi_3(t, \vec{z}, \vec{u}), \\ \frac{dz_4}{dt} = \psi_4(t, \vec{z}, \vec{u}), \end{cases} \begin{cases} \psi_1(t, \vec{z}, \vec{u}) = z_3 \frac{z_1}{t} = \theta_1 \frac{x_1}{t}, \\ \psi_2(t, \vec{z}, \vec{u}) = z_4 \frac{z_1^2}{t} + u, = \theta_2 \frac{x_1^2}{t} + u, \\ \psi_3(t, \vec{z}, \vec{u}) = 0, \\ \psi_4(t, \vec{z}, \vec{u}) = 0, \\ \vec{z} = \{z_1, z_2, z_3, z_4\} = \{x_1, x_2, \theta_1, \theta_2\}, \\ u = 2t. \end{cases} \quad (4.13)$$

Линеаризуем систему уравнений (4.13) в окрестности некоторого известного состояния с номером (s), разлагая правые части этих уравнений в ряд Тейлора. В результате получаем уравнения:

$$\dot{\vec{z}}^{s+1}(t) = \left(\frac{\partial \vec{\Psi}}{\partial \vec{z}} \right)^s \vec{z}^{s+1}(t) + \left[\vec{\Psi}^s(t, \vec{z}^s(t), \vec{u}(t)) - \left(\frac{\partial \vec{\Psi}}{\partial \vec{z}} \right)^s \vec{z}^s(t) \right]. \quad (4.14)$$

Здесь квадратная матрица $\left(\frac{\partial \vec{\Psi}}{\partial \vec{z}} \right)^s$ имеет вид:

$$\left(\frac{\partial \vec{\Psi}}{\partial \vec{z}} \right)^s = \begin{pmatrix} \frac{\partial \psi_1}{\partial z_1} & \dots & \frac{\partial \psi_1}{\partial z_4} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial \psi_5}{\partial z_1} & \dots & \frac{\partial \psi_5}{\partial z_4} \end{pmatrix}_{\vec{z}=\vec{z}^s} = \begin{pmatrix} z_3 \frac{1}{t} & 0 & \frac{z_1}{t} & 0 \\ z_4 \frac{2z_1}{t} & 0 & 0 & \frac{z_1^2}{t} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}_{\vec{z}=\vec{z}^s}. \quad (4.15)$$

3. Решение уравнений (4.14) ищем в виде:

$$\bar{z}^{s+1}(t) = \Phi^s(t, t^{(0)}) \bar{z}^{s+1}(t^{(0)}) + \bar{P}^s(t), \quad (4.16)$$

где вектор $\bar{z}^{s+1}(t^{(0)})$ определяет начальное состояние системы и пока неизвестен.

Матрица Коши удовлетворяет уравнению

$$\dot{\Phi}^s(t, t^{(0)}) = \left(\frac{\partial \bar{\Psi}}{\partial \bar{z}} \right)^s \Phi^s(t, t^{(0)}), \quad (4.17)$$

при начальных условиях:

$$\Phi^s(t^{(0)}, t^{(0)}) = E. \quad (4.18)$$

Очевидно, что в рассматриваемом примере матрица Коши имеет вид:

$$\Phi^s(t^{(j)}, t^{(0)}) = \begin{pmatrix} \Phi_{11}^s(t^{(j)}, t^{(0)}) & \Phi_{12}^s(t^{(j)}, t^{(0)}) & \Phi_{13}^s(t^{(j)}, t^{(0)}) & \Phi_{14}^s(t^{(j)}, t^{(0)}) \\ \Phi_{21}^s(t^{(j)}, t^{(0)}) & \Phi_{22}^s(t^{(j)}, t^{(0)}) & \Phi_{23}^s(t^{(j)}, t^{(0)}) & \Phi_{24}^s(t^{(j)}, t^{(0)}) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (4.19)$$

т. е. только первые две строки коэффициентов неизвестны, а для остальных строк имеет место тривиальное решение.

На этом шаге итерационного процесса, имея оценку вектора $\bar{z}^s(t^{(j)})$, $t \in (T^{(0)}, T)$, по формуле (4.15) находим для этих моментов времени

матрицы $\left(\frac{\partial \bar{\Psi}(t^{(j)})}{\partial \bar{z}} \right)^s$:

$$\left(\frac{\partial \bar{\Psi}(t^{(j)})}{\partial \bar{z}} \right)^s = \begin{pmatrix} \frac{z_3(t^{(j)})}{(t^{(j)})} & 0 & \frac{z_1(t^{(j)})}{(t^{(j)})} & 0 \\ z_4(t^{(j)}) \frac{2z_1(t^{(j)})}{(t^{(j)})} & 0 & 0 & \frac{z_1^2(t^{(j)})}{(t^{(j)})} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}_{\bar{z}=\bar{z}^s}. \quad (4.20)$$

Здесь необходимо отметить, что, хотя в дальнейшем непосредственно будут нужны лишь результаты расчета вектора $\vec{z}^s(t^{(j)})$ и матрицы $\left(\frac{\partial \bar{\Psi}(t^{(j)})}{\partial \vec{z}}\right)^s$ на интервале $t^{(j)} \in (T^{(0)}, T)$, при численном решении уравнения (4.17) потребуется рассчитывать эти величины на всем интервале $t^{(j)} \in (t^{(0)}, T)$. Уравнение (4.17) с начальным условием (4.18) может быть решено по схеме Эйлера с пересчетом [4]. Расчетные формулы в этом случае можно записать в виде:

$$\begin{aligned} \tilde{\Phi}^s(t^{(j+1)}, t^{(0)}) &= \Phi^s(t^{(j)}, t^{(0)}) + \left[\left(\frac{\partial \bar{\Psi}(t^{(j)})}{\partial \vec{z}} \right)^s \Phi^s(t^{(j)}, t^{(0)}) \right] \Delta t, \\ \Phi^s(t^{(j+1)}, t^{(0)}) &= \Phi^s(t^{(j)}, t^{(0)}) + \\ &+ \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial \bar{\Psi}(t^{(j)})}{\partial \vec{z}} \right)^s \Phi^s(t^{(j)}, t^{(0)}) + \left(\frac{\partial \bar{\Psi}(t^{(j+1)})}{\partial \vec{z}} \right)^s \tilde{\Phi}^s(t^{(j+1)}, t^{(0)}) \right] \Delta t, \\ \Phi^s(t^{(0)}, t^{(0)}) &= E, \quad t^{(j)} \in (t^{(0)}, T), \quad j = 0, 1, \dots \end{aligned} \quad (4.21)$$

Частное решение уравнения (4.14) $\vec{P}^s(t)$ удовлетворяет уравнению:

$$\dot{\vec{P}}^s(t) = \left(\frac{\partial \bar{\Psi}}{\partial \vec{z}} \right)^s \vec{P}^s(t) + \left[\bar{\Psi}^s(t, \vec{z}^s(t), \bar{u}(t)) - \left(\frac{\partial \bar{\Psi}}{\partial \vec{z}} \right)^s \vec{z}^s(t) \right], \quad (4.22)$$

при начальных условиях:

$$\vec{P}^s(t^{(0)}) = 0. \quad (4.23)$$

Вектор $\dot{\vec{P}}^s(t)$ имеет вид:

$$\dot{\vec{P}}^s(t) = \{P_1^s(t), P_2^s(t), 0, 0\}, \quad (4.24)$$

т. е. так же, как и для матрицы Коши, здесь только две первые компоненты вектора неизвестны, а для других компонент имеет место тривиальное решение.

Решение уравнения (4.22) также может быть найдено по схеме Эйлера с пересчетом. Расчетные формулы имеют вид:

$$\begin{aligned}\bar{Q}^s(t^{(j)}) &= \left(\frac{\partial \bar{\Psi}(t^{(j)})}{\partial \bar{z}} \right)^s \bar{P}^s(t^{(j)}) + \left[\bar{\Psi}^s(t^{(j)}) - \left(\frac{\partial \bar{\Psi}(t^{(j)})}{\partial \bar{z}} \right)^s \bar{z}^s(t^{(j)}) \right], \\ \tilde{\bar{P}}^s(t^{(j+1)}) &= \bar{P}^s(t^{(j)}) + \bar{Q}^s(t^{(j)}) \Delta t, \\ \bar{Q}^s(t^{(j+1)}) &= \left(\frac{\partial \bar{\Psi}(t^{(j+1)})}{\partial \bar{z}} \right)^s \tilde{\bar{P}}^s(t^{(j+1)}) + \left[\bar{\Psi}^s(t^{(j+1)}) - \left(\frac{\partial \bar{\Psi}(t^{(j+1)})}{\partial \bar{z}} \right)^s \bar{z}^s(t^{(j+1)}) \right], \\ \bar{P}^s(t^{(j+1)}) &= \bar{P}^s(t^{(j)}) + \frac{1}{2} \left[\bar{Q}^s(t^{(j)}) + \bar{Q}^s(t^{(j+1)}) \right] \Delta t.\end{aligned}\tag{4.25}$$

Выполнив эти расчеты, определяем матрицу $C^s(t^{(j)}, t^{(0)})$:

$$\begin{aligned}C^s(t^{(j)}, t^{(0)}) &= \begin{pmatrix} C_{11}^s(t^{(j)}, t^{(0)}) & C_{12}^s(t^{(j)}, t^{(0)}) & C_{13}^s(t^{(j)}, t^{(0)}) & C_{14}^s(t^{(j)}, t^{(0)}) \\ C_{21}^s(t^{(j)}, t^{(0)}) & C_{22}^s(t^{(j)}, t^{(0)}) & C_{23}^s(t^{(j)}, t^{(0)}) & C_{24}^s(t^{(j)}, t^{(0)}) \end{pmatrix} = \\ &= \begin{pmatrix} \Phi_{11}^s(t^{(j)}, t^{(0)}) & \Phi_{12}^s(t^{(j)}, t^{(0)}) & \Phi_{13}^s(t^{(j)}, t^{(0)}) & \Phi_{14}^s(t^{(j)}, t^{(0)}) \\ \Phi_{21}^s(t^{(j)}, t^{(0)}) & \Phi_{22}^s(t^{(j)}, t^{(0)}) & \Phi_{23}^s(t^{(j)}, t^{(0)}) & \Phi_{24}^s(t^{(j)}, t^{(0)}) \end{pmatrix}.\end{aligned}\tag{4.26}$$

Подобным же образом введем вектор $\bar{D}^s(t^{(j)})$:

$$\bar{D}^s(t^{(j)}) = \{P_1^s(t^{(j)}), P_2^s(t^{(j)})\}.\tag{4.27}$$

Для компонент вектора $\bar{x}(t) = \{x_1(t), x_2(t)\}$ формула (4.16) сводится к выражению:

$$\bar{x}^{s+1}(t^{(j)}) = C^s(t^{(j)}, t^{(0)}) \bar{z}^{s+1}(t^{(0)}) + \bar{D}^s(t^{(j)}).\tag{4.28}$$

4. Подставляем выражение (4.28) в уравнение выходов (4.4). В результате получается система уравнений вида:

$$F^{(j)} \bar{z}^{s+1}(t^{(0)}) = \bar{Y}^{(j)}, \quad \bar{Y}^{(j)} = \{Y_1^{(j)}, Y_2^{(j)}\}, \quad j = 1, 2, \dots, N.\tag{4.29}$$

Компоненты векторов $\bar{Y}^{(j)}$ рассчитываются по формулам:

$$\bar{Y}^{(j)} = \bar{y}^{(j)} - C \bar{D}^s(t^{(j)}) = \{Y_1^{(j)}, Y_2^{(j)}\}, \quad C = \begin{pmatrix} 3 & 2 \\ 2 & 3 \end{pmatrix}.\tag{4.30}$$

Матрица $F^{(j)}$ (расширенная матрица плана) рассчитывается по формулам:

$$F^{(j)} = CC^s(t^{(j)}) = \begin{pmatrix} 3 & 2 \\ 2 & 3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_{11}^s(t^{(j)}) & C_{12}^s(t^{(j)}) & C_{13}^s(t^{(j)}) & C_{14}^s(t^{(j)}) \\ C_{21}^s(t^{(j)}) & C_{22}^s(t^{(j)}) & C_{23}^s(t^{(j)}) & C_{24}^s(t^{(j)}) \end{pmatrix}. \quad (4.31)$$

5. На следующем шаге формируется система уравнений:

$$M\vec{\xi}^{s+1} = \vec{Y}, \quad (4.32)$$

где элементы матрицы M и вектора \vec{Y} рассчитываются по формулам:

$$M_{rq} = \sum_{p=1}^k \sum_{j=1}^N F_{pq}^{(j)} F_{pr}^{(j)}, \quad Y_r = \sum_{p=1}^k \sum_{j=1}^N F_{pr}^{(j)} Y_p^{(j)}, \quad q, r = 1, 2, \dots, n+m. \quad (4.33)$$

В таблице 4.2 представлены результаты расчета переменных состояния по формуле (4.28) на разных этапах итерационного процесса. Сравнивая эти оценки переменных состояния с точным решением, приведенным в таблице 4.1, можно отметить хорошую точность такой оценки уже после первых 5–6 итераций.

Таблица 4.2 – Оценки переменных состояния в ходе итерационного процесса

j	$s=0$		$s+1=1$		$s+1=2$	
	$x_1^s(t^{(j)})$	$x_2^s(t^{(j)})$	$x_1^{s+1}(t^{(j)})$	$x_2^{s+1}(t^{(j)})$	$x_1^{s+1}(t^{(j)})$	$x_2^{s+1}(t^{(j)})$
1	0.1000E+01	0.1000E+01	0.6325E+00	-0.2023E+01	0.7386E+00	0.3240E+00
2	0.1000E+01	0.1000E+01	0.8438E+00	-0.7870E+00	0.8389E+00	0.1012E+01
3	0.1000E+01	0.1000E+01	0.1037E+01	0.3799E+00	0.9325E+00	0.1745E+01
4	0.1000E+01	0.1000E+01	0.1214E+01	0.1491E+01	0.1021E+01	0.2497E+01
5	0.1000E+01	0.1000E+01	0.1378E+01	0.2559E+01	0.1104E+01	0.3257E+01
6	0.1000E+01	0.1000E+01	0.1531E+01	0.3592E+01	0.1184E+01	0.4018E+01
7	0.1000E+01	0.1000E+01	0.1674E+01	0.4596E+01	0.1261E+01	0.4779E+01
8	0.1000E+01	0.1000E+01	0.1808E+01	0.5578E+01	0.1336E+01	0.5542E+01
9	0.1000E+01	0.1000E+01	0.1935E+01	0.6543E+01	0.1408E+01	0.6308E+01
10	0.1000E+01	0.1000E+01	0.2054E+01	0.7495E+01	0.1479E+01	0.7083E+01
11	0.1000E+01	0.1000E+01	0.2168E+01	0.8437E+01	0.1548E+01	0.7869E+01
12	0.1000E+01	0.1000E+01	0.2276E+01	0.9372E+01	0.1617E+01	0.8673E+01
13	0.1000E+01	0.1000E+01	0.2379E+01	0.1030E+02	0.1684E+01	0.9497E+01
14	0.1000E+01	0.1000E+01	0.2477E+01	0.1123E+02	0.1751E+01	0.1035E+02
15	0.1000E+01	0.1000E+01	0.2572E+01	0.1216E+02	0.1818E+01	0.1123E+02
16	0.1000E+01	0.1000E+01	0.2662E+01	0.1309E+02	0.1884E+01	0.1215E+02
17	0.1000E+01	0.1000E+01	0.2749E+01	0.1402E+02	0.1950E+01	0.1310E+02
18	0.1000E+01	0.1000E+01	0.2832E+01	0.1495E+02	0.2016E+01	0.1410E+02
19	0.1000E+01	0.1000E+01	0.2913E+01	0.1590E+02	0.2082E+01	0.1515E+02

Продолжение табл. 4.2

j	$s = 0$		$s + 1 = 1$		$s + 1 = 2$	
	$x_1^s(t^{(j)})$	$x_2^s(t^{(j)})$	$x_1^{s+1}(t^{(j)})$	$x_2^{s+1}(t^{(j)})$	$x_1^{s+1}(t^{(j)})$	$x_2^{s+1}(t^{(j)})$
20	0.1000E+01	0.1000E+01	0.2991E+01	0.1684E+02	0.2149E+01	0.1625E+02
21	0.1000E+01	0.1000E+01	0.3066E+01	0.1780E+02	0.2215E+01	0.1740E+02
22	0.1000E+01	0.1000E+01	0.3138E+01	0.1876E+02	0.2282E+01	0.1862E+02
23	0.1000E+01	0.1000E+01	0.3208E+01	0.1973E+02	0.2350E+01	0.1989E+02
24	0.1000E+01	0.1000E+01	0.3277E+01	0.2071E+02	0.2418E+01	0.2123E+02
25	0.1000E+01	0.1000E+01	0.3343E+01	0.2170E+02	0.2486E+01	0.2263E+02
26	0.1000E+01	0.1000E+01	0.3407E+01	0.2271E+02	0.2555E+01	0.2411E+02
27	0.1000E+01	0.1000E+01	0.3469E+01	0.2372E+02	0.2625E+01	0.2566E+02
28	0.1000E+01	0.1000E+01	0.3530E+01	0.2474E+02	0.2696E+01	0.2728E+02
29	0.1000E+01	0.1000E+01	0.3589E+01	0.2578E+02	0.2767E+01	0.2899E+02
30	0.1000E+01	0.1000E+01	0.3646E+01	0.2683E+02	0.2840E+01	0.3077E+02
31	0.1000E+01	0.1000E+01	0.3702E+01	0.2789E+02	0.2913E+01	0.3264E+02

Продолжение табл. 4.2

j	$s + 1 = 3$		$s + 1 = 4$		$s + 1 = 5$	
	$x_1^{s+1}(t^{(j)})$	$x_2^{s+1}(t^{(j)})$	$x_1^{s+1}(t^{(j)})$	$x_2^{s+1}(t^{(j)})$	$x_1^{s+1}(t^{(j)})$	$x_2^{s+1}(t^{(j)})$
1	0.1063E+01	0.8243E+00	0.1139E+01	0.8469E+00	0.9994E+00	0.1011E+01
2	0.1164E+01	0.1314E+01	0.1238E+01	0.1271E+01	0.1100E+01	0.1426E+01
3	0.1265E+01	0.1823E+01	0.1336E+01	0.1737E+01	0.1201E+01	0.1882E+01
4	0.1364E+01	0.2355E+01	0.1433E+01	0.2245E+01	0.1302E+01	0.2379E+01
5	0.1462E+01	0.2913E+01	0.1530E+01	0.2793E+01	0.1402E+01	0.2916E+01
6	0.1560E+01	0.3501E+01	0.1625E+01	0.3381E+01	0.1503E+01	0.3494E+01
7	0.1657E+01	0.4121E+01	0.1720E+01	0.4010E+01	0.1603E+01	0.4112E+01
8	0.1754E+01	0.4777E+01	0.1814E+01	0.4679E+01	0.1704E+01	0.4771E+01
9	0.1850E+01	0.5469E+01	0.1907E+01	0.5388E+01	0.1804E+01	0.5471E+01
10	0.1946E+01	0.6200E+01	0.2000E+01	0.6136E+01	0.1904E+01	0.6211E+01
11	0.2042E+01	0.6972E+01	0.2092E+01	0.6925E+01	0.2004E+01	0.6991E+01
12	0.2137E+01	0.7784E+01	0.2184E+01	0.7754E+01	0.2104E+01	0.7812E+01
13	0.2232E+01	0.8638E+01	0.2275E+01	0.8623E+01	0.2204E+01	0.8673E+01
14	0.2327E+01	0.9534E+01	0.2365E+01	0.9532E+01	0.2304E+01	0.9574E+01
15	0.2422E+01	0.1047E+02	0.2455E+01	0.1048E+02	0.2404E+01	0.1051E+02
16	0.2517E+01	0.1145E+02	0.2545E+01	0.1147E+02	0.2504E+01	0.1150E+02
17	0.2612E+01	0.1248E+02	0.2634E+01	0.1250E+02	0.2603E+01	0.1252E+02
18	0.2706E+01	0.1354E+02	0.2723E+01	0.1357E+02	0.2703E+01	0.1358E+02
19	0.2801E+01	0.1465E+02	0.2812E+01	0.1468E+02	0.2802E+01	0.1468E+02
20	0.2895E+01	0.1580E+02	0.2900E+01	0.1583E+02	0.2902E+01	0.1582E+02
21	0.2989E+01	0.1700E+02	0.2987E+01	0.1702E+02	0.3001E+01	0.1700E+02
22	0.3083E+01	0.1823E+02	0.3075E+01	0.1825E+02	0.3101E+01	0.1822E+02
23	0.3177E+01	0.1950E+02	0.3162E+01	0.1952E+02	0.3200E+01	0.1948E+02
24	0.3271E+01	0.2082E+02	0.3249E+01	0.2083E+02	0.3299E+01	0.2079E+02
25	0.3364E+01	0.2217E+02	0.3335E+01	0.2218E+02	0.3398E+01	0.2213E+02
26	0.3457E+01	0.2356E+02	0.3421E+01	0.2357E+02	0.3497E+01	0.2351E+02
27	0.3551E+01	0.2499E+02	0.3507E+01	0.2500E+02	0.3596E+01	0.2493E+02
28	0.3644E+01	0.2645E+02	0.3593E+01	0.2647E+02	0.3695E+01	0.2638E+02
29	0.3737E+01	0.2795E+02	0.3678E+01	0.2798E+02	0.3794E+01	0.2788E+02
30	0.3829E+01	0.2949E+02	0.3763E+01	0.2954E+02	0.3893E+01	0.2942E+02
31	0.3922E+01	0.3105E+02	0.3848E+01	0.3113E+02	0.3992E+01	0.3100E+02

В рассматриваемом примере для случаев $s = 0, 1, 2, 3, 4, 5$ уравнения (4.32) для расчета очередной оценки коэффициентов имеют вид:

$$\begin{pmatrix} 0.403000E+03 & 0.372000E+03 & 0.340051E+03 & 0.313893E+03 \\ 0.372000E+03 & 0.403000E+03 & 0.313893E+03 & 0.340051E+03 \\ 0.340051E+03 & 0.313893E+03 & 0.350641E+03 & 0.323668E+03 \\ 0.313893E+03 & 0.340051E+03 & 0.323668E+03 & 0.350641E+03 \end{pmatrix} \xi_1 =$$

$$= \begin{pmatrix} 0.363010E+04 \\ 0.377115E+04 \\ 0.383640E+04 \\ 0.399727E+04 \end{pmatrix}, \quad (4.34)$$

$$\begin{pmatrix} 0.271228E+08 & 0.765561E+05 & 0.141591E+08 & 0.407660E+06 \\ 0.765561E+05 & 0.403000E+03 & 0.376648E+05 & 0.126403E+04 \\ 0.141591E+08 & 0.376648E+05 & 0.743801E+07 & 0.210332E+06 \\ 0.407660E+06 & 0.126403E+04 & 0.210332E+06 & 0.626252E+04 \end{pmatrix} \xi_2 =$$

$$= \begin{pmatrix} 0.411973E+08 \\ 0.114314E+06 \\ 0.215452E+08 \\ 0.617151E+06 \end{pmatrix}, \quad (4.35)$$

$$\begin{pmatrix} 0.141848E+07 & 0.190472E+05 & 0.844841E+06 & 0.517121E+05 \\ 0.190472E+05 & 0.403000E+03 & 0.104002E+05 & 0.705867E+03 \\ 0.844841E+06 & 0.104002E+05 & 0.512689E+06 & 0.306538E+05 \\ 0.844841E+06 & 0.104002E+05 & 0.512689E+06 & 0.306538E+05 \end{pmatrix} \xi_3 =$$

$$= \begin{pmatrix} 0.213606E+07 \\ 0.280001E+05 \\ 0.127959E+07 \\ 0.777549E+05 \end{pmatrix}, \quad (4.36)$$

$$\left(\begin{array}{cccc} 0.369512E+05 & -0.296984E+04 & 0.308907E+05 & -0.148672E+05 \\ -0.296984E+04 & 0.403000E+03 & -0.223314E+04 & 0.126165E+04 \\ 0.308907E+05 & -0.223314E+04 & 0.268168E+05 & -0.123031E+05 \\ -0.148672E+05 & 0.126165E+04 & -0.123031E+05 & 0.604966E+04 \end{array} \right) \zeta^4 =$$

$$= \left(\begin{array}{c} 0.363059E+05 \\ -0.242280E+04 \\ 0.316925E+05 \\ -0.143016E+05 \end{array} \right), \quad (4.37)$$

$$\left(\begin{array}{cccc} 0.109690E+06 & 0.556304E+04 & 0.105672E+06 & 0.265687E+05 \\ 0.556304E+04 & 0.403000E+03 & 0.486049E+04 & 0.131631E+04 \\ 0.105672E+06 & 0.486049E+04 & 0.104766E+06 & 0.257350E+05 \\ 0.265687E+05 & 0.131631E+04 & 0.257350E+05 & 0.646495E+04 \end{array} \right) \zeta^5 =$$

$$= \left(\begin{array}{c} 0.273429E+06 \\ 0.134315E+05 \\ 0.266133E+06 \\ 0.663951E+05 \end{array} \right), \quad (4.38)$$

$$\left(\begin{array}{cccc} 0.122370E+06 & 0.578634E+04 & 0.107987E+06 & 0.265181E+05 \\ 0.578634E+04 & 0.403000E+03 & 0.462964E+04 & 0.122186E+04 \\ 0.107987E+06 & 0.462964E+04 & 0.978273E+05 & 0.235331E+05 \\ 0.265181E+05 & 0.122186E+04 & 0.235331E+05 & 0.577676E+04 \end{array} \right) \zeta^6 =$$

$$= \left(\begin{array}{c} 0.289179E+06 \\ 0.132627E+05 \\ 0.257510E+06 \\ 0.628264E+05 \end{array} \right). \quad (4.39)$$

В рассматриваемом примере эти уравнения решались методом исключения Гаусса с выбором главного элемента по столбцам. Результаты оценки параметров $\bar{\xi}^{s+1} = \bar{z}^{s+1}(t^{(0)}) = \{x_1^{s+1}(t^{(0)}), x_2^{s+1}(t^{(0)}), \theta_1^{s+1}, \theta_2^{s+1}\}$ модели методом квазилинеаризации приведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3 – Оценки компонент вектора идентифицируемых параметров

j	$\bar{\theta}^0$	$s+1=1$	$s+1=2$	$s+1=3$	$s+1=4$	$s+1=5$	$s+1=6$
$x_1^{s+1}(t^{(0)})$	1.0	0.6325E+00	0.7386E+00	0.1063E+01	0.1139E+01	0.9994E+00	0.1000E+01
$x_2^{s+1}(t^{(0)})$	1.0	-0.2023E+01	0.3240E+00	0.8243E+00	0.8469E+00	0.1011E+01	0.1000E+01
θ_1^{s+1}	0.0	0.2213E+01	0.1268E+01	0.8306E+00	0.8792E+00	0.9936E+00	0.1000E+01
θ_2^{s+1}	0.0	0.1075E+02	0.7823E+01	-0.1720E+01	0.2046E+01	0.2002E+01	0.2000E+01

Видно, что в этом примере метод квазилинеаризации обеспечивает практически точное решение задачи за 5–6 итераций.

5 КОНТРОЛЬНЫЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

В рамках изучения дисциплины «Идентификация и диагностика систем» необходимо выполнить две контрольные и две лабораторные работы.

Цель выполнения данных работ заключается в проверке знания теоретического материала по основным методам идентификации параметров и приобретения навыков и умений применять эти знания для решения задач идентификации систем с математическими моделями разной сложности.

Выбор варианта контрольных и лабораторных работ осуществляется по общим правилам с использованием следующей формулы:

$$V = (N \times K) \operatorname{div} 100,$$

где V – искомый номер варианта,

N – общее количество вариантов,

div – целочисленное деление,

при $V = 0$ выбирается максимальный вариант,

K – код варианта.

Отчеты по контрольным и лабораторным работам должны быть оформлены в соответствии с требованиями образовательного стандарта вуза ОС ТУСУР 01 – 2013 «Работы студенческие по направлениям подготовки и специальностям технического профиля. Общие требования и правила оформления». Режим доступа:

http://www.tusur.ru/export/sites/ru.tusur.new/ru/education/documents/inside/tech_01-2013_new.pdf

5.1 Контрольная работа № 1. Оценка параметров системы методом максимального правдоподобия

Задание

Дано уравнение модели:

$$y = y(\vec{u}) = (\vec{f}(\vec{u}), \vec{\theta}) = \sum_{j=1}^m f_j(\vec{u}) \theta_j -$$

и таблица результатов измерений входного $\vec{u}^{(i)}$, $i = 1, 2, \dots, N$, и выходного $y^{(i)}$ сигналов.

Требуется оценить методом максимального правдоподобия параметры модели θ_j .

Порядок выполнения работы

1. Запишите уравнение модели для выбранного варианта задания.
2. Запишите в соответствии с уравнением модели и результатами измерений исходную систему уравнений для оценки параметров (см. п. 1.3 учебного пособия [1], формула (1.13)).
3. Вычислите элементы информационной матрицы и компоненты вектора правых частей для записи нормальной системы уравнений (см. п. 1.3 учебного пособия [1], формулы (1.20), (1.21)).
4. Решая систему нормальных уравнений, получите оценку параметров модели $\tilde{\theta} = M^{-1}\vec{Y}$.
5. Найдите оценку дисперсии

$$\tilde{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \left(y^{(i)} - \sum_{j=1}^m f_j(\vec{u}^{(i)}) \tilde{\theta}_j \right)^2}{N - m} \quad (\text{см. формулу (1.25) пособия}).$$

6. Запишите полученное уравнение модели с известными оценками параметров.

В отчете необходимо представить результаты выполнения перечисленных этапов работы.

**Варианты исходных данных для выполнения
контрольной работы № 1**

Вариант 1. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}),$$

$$\vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\}, \vec{f}(\vec{u}) = \{f_1(\vec{u}) = u_1, f_2(\vec{u}) = u_1 u_2, f_3(\vec{u}) = u_1 u_2 u_3\}.$$

Оцените методом максимального правдоподобия параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	1	-1	-1	-1	0	1	1	-1	-1	-1
$u_2^{(i)}$	1	1	-1	-1	1	0	1	0	-1	-1
$u_3^{(i)}$	1	1	1	-1	1	1	0	0	0	2
$y^{(i)}$	2.1	-1.9	0.2	8.3	-0.3	1.2	6.2	-1.3	4.1	-3.8

Вариант 2. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}),$$

$$\vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\}, \vec{f}(\vec{u}) = \{f_1(\vec{u}) = u_1, f_2(\vec{u}) = u_2, f_3(\vec{u}) = u_1 u_2 u_3\}.$$

Оцените методом максимального правдоподобия параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$u_2^{(i)}$	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
$u_3^{(i)}$	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
$y^{(i)}$	3.60	3.86	4.10	4.29	4.48	4.65	4.81	4.97	5.14	5.30

Вариант 3. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}),$$

$$\vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\}, \vec{f}(\vec{u}) = \{f_1(\vec{u}) = u_1, f_2(\vec{u}) = (u_2)^2, f_3(\vec{u}) = (u_3)^2\}.$$

Оцените методом максимального правдоподобия параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сиг- нал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$u_2^{(i)}$	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
$u_3^{(i)}$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
$y^{(i)}$	9.3 3	12.5 2	16.5 7	21.4 8	27.2 5	33.8 8	41.3 7	49.7 2	58.9 3	69.0 0

Вариант 4. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}),$$

$$\vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\}, \vec{f}(\vec{u}) = \{f_1(\vec{u}) = (u_1)^2, f_2(\vec{u}) = (u_2)^2, f_3(\vec{u}) = u_3\}.$$

Оцените методом максимального правдоподобия параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
$u_2^{(i)}$	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
$u_3^{(i)}$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$y^{(i)}$	4.59	6.56	8.91	11.64	14.75	18.24	22.11	26.36	31.00	36.00

Вариант 5. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}),$$

$$\vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\}, \vec{f}(\vec{u}) = \{f_1(\vec{u}) = u_1 u_2, f_2(\vec{u}) = u_2 u_3, f_3(\vec{u}) = u_1 u_3\}.$$

Оцените методом максимального правдоподобия параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
$u_2^{(i)}$	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4
$u_3^{(i)}$	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
$y^{(i)}$	-0.43	-0.16	0.21	0.68	1.25	1.92	2.69	3.56	4.53	5.60

Вариант 6. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}),$$

$$\vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\}, \vec{f}(\vec{u}) = \{f_1(\vec{u}) = u_1, f_2(\vec{u}) = u_1/u_3, f_3(\vec{u}) = u_2/u_3\}.$$

Оцените методом максимального правдоподобия параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1.0	-1.2	-1.4	-1.6	-1.8	-2.0
$u_2^{(i)}$	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4
$u_3^{(i)}$	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
$y^{(i)}$	0.31	-1.29	-2.46	-3.25	-3.67	-3.75	-3.51	-2.97	-2.13	-1.00

Вариант 7. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}),$$

$$\vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\}, \vec{f}(\vec{u}) = \{f_1(\vec{u}) = \sin(u_1), f_2(\vec{u}) = \cos(u_2), f_3(\vec{u}) = u_3\}.$$

Оцените методом максимального правдоподобия параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	-1.2	-1.4	-1.6	-1.8	-2.0	-2.2	-2.4	-2.6	-2.8	-3.0
$u_2^{(i)}$	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.0	-0.5	-1.5	-2.0	2.5
$u_3^{(i)}$	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0
$y^{(i)}$	2.73	3.60	4.74	5.93	6.94	7.58	7.80	6.71	6.30	6.12

Вариант 8. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}),$$

$$\vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\}, \vec{f}(\vec{u}) = \left\{ f_1(\vec{u}) = (\cos(u_1))^2, f_2(\vec{u}) = \ln(u_2), f_3(\vec{u}) = e^{u_3} \right\}.$$

Оцените методом максимального правдоподобия параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сиг- нал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	-1.2	-1.4	-1.6	-1.8	-2.0	-2.2	-2.4	-2.6	-2.8	-3.0
$u_2^{(i)}$	7.5	7.0	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0
$u_3^{(i)}$	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
$y^{(i)}$	24.56	23.90	24.12	25.28	27.28	29.93	32.93	35.93	38.59	40.64

Вариант 9. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}),$$

$$\vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\}, \vec{f}(\vec{u}) = \left\{ f_1(\vec{u}) = (\sin(u_1))^2, f_2(\vec{u}) = \sin(2u_2), f_3(\vec{u}) = \sin(3u_3) \right\}.$$

Оцените методом максимального правдоподобия параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	-1.2	-1.4	-1.6	-1.8	-2.0	-2.2	-2.4	-2.6	-2.8	-3.0
$u_2^{(i)}$	7.5	7.0	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0
$u_3^{(i)}$	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
$y^{(i)}$	1.70	1.62	-0.22	-2.74	-4.11	-3.42	-1.50	-0.07	-0.23	-1.38

Вариант 10. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}),$$

$$\vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\}, \vec{f}(\vec{u}) = \{f_1(\vec{u}) = u_1 u_2, f_2(\vec{u}) = \sin(u_2), f_3(\vec{u}) = \cos(u_3)\}.$$

Оцените методом максимального правдоподобия параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	-1.2	-1.4	-1.6	-1.8	-2.0	-2.2	-2.4	-2.6	-2.8	-3.0
$u_2^{(i)}$	1.5	1.0	0.5	0.0	-0.5	-1.0	-1.5	-2.0	-2.5	-3.0
$u_3^{(i)}$	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0
$y^{(i)}$	-4.40	-3.52	-2.43	-0.97	1.10	4.02	7.96	12.99	19.08	26.06

Вариант 11. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}),$$

$$\vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\}, \vec{f}(\vec{u}) = \{f_1(\vec{u}) = e^{u_1}, f_2(\vec{u}) = \sin(u_2), f_3(\vec{u}) = \cos(u_3)\}.$$

Оцените методом максимального правдоподобия параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0
$u_2^{(i)}$	-1.5	-1.0	-0.5	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
$u_3^{(i)}$	1.5	1.0	0.5	0.0	-0.5	-1.0	-1.5	-2.0	-2.5	-3.0
$y^{(i)}$	-0.35	1.59	4.52	8.23	12.47	16.99	21.65	26.49	31.78	37.98

Вариант 12. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}),$$

$$\vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\}, \vec{f}(\vec{u}) = \{f_1(\vec{u}) = u_1, f_2(\vec{u}) = (u_2)^2, f_3(\vec{u}) = (u_3)^3\}.$$

Оцените методом максимального правдоподобия параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
$u_2^{(i)}$	-1.5	-1.0	-0.5	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
$u_3^{(i)}$	-1.1	-0.9	-0.7	-0.5	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.5	0.7
$y^{(i)}$	6.01	3.81	2.97	3.63	5.92	10.00	16.00	24.08	34.38	47.03

Вариант 13. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}), \vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\},$$

$$\vec{f}(\vec{u}) = \left\{ f_1(\vec{u}) = u_1, f_2(\vec{u}) = (u_2)^2, f_3(\vec{u}) = 1/u_3 \right\}.$$

Оцените методом максимального правдоподобия параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0
$u_2^{(i)}$	-1.5	-1.4	-1.3	-1.2	-1.1	-1.0	-0.9	-0.8	-0.7	-0.6
$u_3^{(i)}$	3.1	2.9	2.7	2.5	2.3	2.1	1.9	1.7	1.5	1.3
$y^{(i)}$	3.83	3.68	3.55	3.44	3.36	3.31	3.30	3.32	3.39	3.51

Вариант 14. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}), \vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\},$$

$$\vec{f}(\vec{u}) = \left\{ f_1(\vec{u}) = u_1, f_2(\vec{u}) = \sin(3u_1), f_3(\vec{u}) = \cos(u_1 + u_2 + u_3) \right\}.$$

Оцените методом максимального правдоподобия параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
$u_2^{(i)}$	-1.5	-1.4	-1.3	-1.2	-1.1	-1.0	-0.9	-0.8	-0.7	-0.6
$u_3^{(i)}$	2.1	1.9	1.7	1.5	1.3	1.1	0.9	0.7	0.5	0.3
$y^{(i)}$	3.17	4.01	4.20	3.68	2.69	1.58	0.78	0.58	1.08	2.12

Вариант 15. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}), \vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\},$$

$$\vec{f}(\vec{u}) = \{f_1(\vec{u}) = u_1, f_2(\vec{u}) = \operatorname{tg}(u_2), f_3(\vec{u}) = \sin(u_3)\}.$$

Оцените методом максимального правдоподобия параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1.0	-1.2	-1.4	-1.6	-1.8	-2.0
$u_2^{(i)}$	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4
$u_3^{(i)}$	1.1	0.9	0.7	0.5	0.3	0.1	-0.1	-0.3	-0.5	-0.7
$y^{(i)}$	0.98	0.47	-0.17	-0.93	-1.77	-2.65	-3.55	-4.43	-5.25	-5.99

Вариант 16. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}), \vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\},$$

$$\vec{f}(\vec{u}) = \{f_1(\vec{u}) = \sin(u_1), f_2(\vec{u}) = \sin(2u_2), f_3(\vec{u}) = \sin(3u_3)\}.$$

Оцените методом максимального правдоподобия параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0
$u_2^{(i)}$	5.5	5.4	5.3	5.2	5.1	5.0	4.9	4.8	4.7	4.6
$u_3^{(i)}$	-1.1	-0.9	-0.7	-0.5	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.5	0.7
$y^{(i)}$	-8.65	-8.89	-7.51	-5.13	-2.65	-0.93	-0.50	-1.38	-3.07	-4.74

Вариант 17. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}), \vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\},$$

$$\vec{f}(\vec{u}) = \{f_1(\vec{u}) = \cos(3u_1), f_2(\vec{u}) = \cos(2u_2), f_3(\vec{u}) = \cos(u_3)\}.$$

Оцените методом максимального правдоподобия параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
$u_2^{(i)}$	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6
$u_3^{(i)}$	1.1	0.9	0.7	0.5	0.3	0.1	-0.1	-0.3	-0.5	-0.7
$y^{(i)}$	0.97	0.30	-0.78	-1.58	-1.52	-0.33	1.85	4.49	6.85	8.25

Вариант 18. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}), \quad \vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\},$$

$$\vec{f}(\vec{u}) = \{f_1(\vec{u}) = \operatorname{tg}(u_1), f_2(\vec{u}) = \ln(u_2), f_3(\vec{u}) = \sin(u_3)\}.$$

Оцените методом максимального правдоподобия параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	10.2	10.4	10.6	10.8	11.0	11.2	11.4	11.6	11.8	12.0
$u_2^{(i)}$	5.5	5.4	5.3	5.2	5.1	4.0	4.9	4.8	4.7	4.6
$u_3^{(i)}$	11.1	10.9	10.7	10.5	10.3	10.1	9.9	9.7	9.5	9.3
$y^{(i)}$	16.62	21.36	30.81	58.06	-2250	-38.0	-11.4	-0.49	6.50	11.92

Вариант 19. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}), \quad \vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\},$$

$$\vec{f}(\vec{u}) = \{f_1(\vec{u}) = e^{-u_1}, f_2(\vec{u}) = e^{-u_2}, f_3(\vec{u}) = e^{-u_3}\}.$$

Оцените методом максимального правдоподобия параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
$u_2^{(i)}$	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6
$u_3^{(i)}$	2.1	1.9	1.7	1.5	1.3	1.1	0.9	0.7	0.5	0.3
$y^{(i)}$	9.54	8.59	7.95	7.61	7.53	7.73	8.19	8.93	9.99	11.39

Вариант 20. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}), \quad \vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\},$$

$$\vec{f}(\vec{u}) = \{f_1(\vec{u}) = \sin(u_1), f_2(\vec{u}) = \cos(u_2), f_3(\vec{u}) = \sin(u_1 + u_2 + u_3)\}.$$

Оцените методом последовательной идентификации параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
$u_2^{(i)}$	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6
$u_3^{(i)}$	9.1	8.9	8.7	8.5	8.3	8.1	7.9	7.7	7.5	7.3
$y^{(i)}$	-8.18	-6.62	-5.08	-3.63	-2.32	-1.18	-0.25	0.44	0.89	1.10

5.2 Контрольная работа № 2. Оценка параметров системы методом последовательной идентификации

Задание

Дано уравнение модели:

$$y = y(\vec{u}) = (\vec{f}(\vec{u}), \vec{\theta}) = \sum_{j=1}^m f_j(\vec{u}) \theta_j -$$

и таблица результатов измерений входного $\vec{u}^{(i)}$, $i = 1, 2, \dots, N$, и выходного $y^{(i)}$ сигналов.

Требуется оценить методом последовательной идентификации параметры модели θ_j (см. п. 1.7 учебного пособия [1]).

Порядок выполнения работы

1. Запишите уравнение модели для выбранного варианта задания.
2. Выберите в соответствии с уравнением модели и рекомендациями, приведенными при формулировке каждого задания, начальные оценки матрицы $P^0 = \frac{1}{\varepsilon} E$ и коэффициентов $\tilde{\theta}^0 = 0$, $\omega^{(i)}$ (см. п. 1.7 учебного пособия [1]).

3. Напишите в любом доступном прикладном пакете программу, реализующую процедуру последовательного уточнения (см. п. 1.7 учебного пособия [1], формула (1.97)):

$$\begin{aligned} \tilde{\theta}^r &= \tilde{\theta}^{r-1} + P^r \omega^{(r)} \vec{f}(\vec{u}^{(r)}) \otimes \left(y^{(r)} - (\vec{f}(\vec{u}^{(r)}), \tilde{\theta}^{r-1}) \right), \\ P^r &= P^{r-1} - P^{r-1} \vec{H}^{(r)} \otimes \left(1 + \vec{H}^{(r)} P^{r-1} \vec{H}^{(r)} \right)^{-1} \vec{H}^{(r)} P^{r-1}, \\ \vec{H}^{(r)} &= \sqrt{\omega^{(r)}} \vec{f}(\vec{u}^{(r)}), \quad r = 1, 2, \dots, N, \\ P^0 &= \frac{1}{\varepsilon} E, \quad \varepsilon \rightarrow 0, \quad \tilde{\theta}^0 = 0. \end{aligned}$$

4. Найдите оценку параметров модели $\tilde{\theta}^N$.
5. Найдите оценку дисперсии

$$\tilde{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \left(y^{(i)} - \sum_{j=1}^m f_j(\vec{u}^{(i)}) \tilde{\theta}_j \right)^2}{N - m}$$

(см. формулу (1.25) учебного пособия [1]).

6. Запишите полученное уравнение модели с известными оценками параметров.

В отчете необходимо представить результаты выполнения перечисленных этапов работы.

**Варианты исходных данных для выполнения
контрольной работы № 2**

Вариант 1. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}),$$

$$\vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\}, \vec{f}(\vec{u}) = \{f_1(\vec{u}) = u_1, f_2(\vec{u}) = u_1 u_2, f_3(\vec{u}) = u_1 u_2 u_3\}.$$

Задав $\tilde{\theta}^0 = 0$, $\varepsilon = 10^{-4}$, $\omega^{(i)} = 1.0$ ($i = 1, \dots, 10$), оцените методом последовательной идентификации параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	1	-1	-1	-1	0	1	1	-1	-1	-1
$u_2^{(i)}$	1	1	-1	-1	1	0	1	0	-1	-1
$u_3^{(i)}$	1	1	1	-1	1	1	0	0	0	2
$y^{(i)}$	2.1	-1.9	0.2	8.3	-0.3	1.2	6.2	-1.3	4.1	-3.8

Вариант 2. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}),$$

$$\vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\}, \vec{f}(\vec{u}) = \{f_1(\vec{u}) = u_1, f_2(\vec{u}) = u_2, f_3(\vec{u}) = u_1 u_2 u_3\}.$$

Задав $\tilde{\theta}^0 = 0$, $\varepsilon = 10^{-5}$, $\omega^{(i)} = 1.0$ ($i = 1, \dots, 10$), оцените методом последовательной идентификации параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$u_2^{(i)}$	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
$u_3^{(i)}$	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
$y^{(i)}$	3.60	3.86	4.10	4.29	4.48	4.65	4.81	4.97	5.14	5.30

Вариант 3. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}),$$

$$\vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\}, \vec{f}(\vec{u}) = \{f_1(\vec{u}) = u_1, f_2(\vec{u}) = (u_2)^2, f_3(\vec{u}) = (u_3)^2\}.$$

Задав $\tilde{\theta}^0 = 0$, $\varepsilon = 10^{-5}$, $\omega^{(i)} = 1.0$ ($i = 1, \dots, 10$), оцените методом последовательной идентификации параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$u_2^{(i)}$	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
$u_3^{(i)}$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
$y^{(i)}$	9.3 3	12.5 2	16.5 7	21.4 8	27.2 5	33.8 8	41.3 7	49.7 2	58.9 3	69.0 0

Вариант 4. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}),$$

$$\vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\}, \vec{f}(\vec{u}) = \left\{ f_1(\vec{u}) = (u_1)^2, f_2(\vec{u}) = (u_2)^2, f_3(\vec{u}) = u_3 \right\}.$$

Задав $\tilde{\theta}^0 = 0$, $\varepsilon = 10^{-4}$, $\omega^{(i)} = 1.0$ ($i = 1, \dots, 10$), оцените методом последовательной идентификации параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
$u_2^{(i)}$	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
$u_3^{(i)}$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$y^{(i)}$	4.59	6.56	8.91	11.64	14.75	18.24	22.11	26.36	31.00	36.00

Вариант 5. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}),$$

$$\vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\}, \vec{f}(\vec{u}) = \left\{ f_1(\vec{u}) = u_1 u_2, f_2(\vec{u}) = u_2 u_3, f_3(\vec{u}) = u_1 u_3 \right\}.$$

Задав $\tilde{\theta}^0 = 0$, $\varepsilon = 10^{-5}$, $\omega^{(i)} = 1.0$ ($i = 1, \dots, 10$), оцените методом последовательной идентификации параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
$u_2^{(i)}$	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4
$u_3^{(i)}$	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
$y^{(i)}$	-0.43	-0.16	0.21	0.68	1.25	1.92	2.69	3.56	4.53	5.60

Вариант 6. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}),$$

$$\vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\}, \vec{f}(\vec{u}) = \{f_1(\vec{u}) = u_1, f_2(\vec{u}) = u_1/u_3, f_3(\vec{u}) = u_2/u_3\}.$$

Задав $\tilde{\theta}^0 = 0$, $\varepsilon = 10^{-5}$, $\omega^{(i)} = 1.0$ ($i = 1, \dots, 10$), оцените методом последовательной идентификации параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1.0	-1.2	-1.4	-1.6	-1.8	-2.0
$u_2^{(i)}$	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4
$u_3^{(i)}$	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
$y^{(i)}$	0.31	-1.29	-2.46	-3.25	-3.67	-3.75	-3.51	-2.97	-2.13	-1.00

Вариант 7. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}),$$

$$\vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\}, \vec{f}(\vec{u}) = \{f_1(\vec{u}) = \sin(u_1), f_2(\vec{u}) = \cos(u_2), f_3(\vec{u}) = u_3\}.$$

Задав $\tilde{\theta}^0 = 0$, $\varepsilon = 10^{-5}$, $\omega^{(i)} = 1.0$ ($i = 1, \dots, 10$), оцените методом последовательной идентификации параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	-1.2	-1.4	-1.6	-1.8	-2.0	-2.2	-2.4	-2.6	-2.8	-3.0
$u_2^{(i)}$	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.0	-0.5	-1.5	-2.0	2.5
$u_3^{(i)}$	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0
$y^{(i)}$	2.73	3.60	4.74	5.93	6.94	7.58	7.80	6.71	6.30	6.12

Вариант 8. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}),$$

$$\vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\}, \vec{f}(\vec{u}) = \left\{ f_1(\vec{u}) = (\cos(u_1))^2, f_2(\vec{u}) = \ln(u_2), f_3(\vec{u}) = e^{u_3} \right\}.$$

Задав $\tilde{\theta}^0 = 0$, $\varepsilon = 10^{-5}$, $\omega^{(i)} = 1.0$ ($i = 1, \dots, 10$), оцените методом последовательной идентификации параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	-1.2	-1.4	-1.6	-1.8	-2.0	-2.2	-2.4	-2.6	-2.8	-3.0
$u_2^{(i)}$	7.5	7.0	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0
$u_3^{(i)}$	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
$y^{(i)}$	24.5 6	23.9 0	24.1 2	25.2 8	27.2 8	29.9 3	32.9 3	35.9 3	38.5 9	40.6 4

Вариант 9. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}),$$

$$\vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\}, \vec{f}(\vec{u}) = \left\{ f_1(\vec{u}) = (\sin(u_1))^2, f_2(\vec{u}) = \sin(2u_2), f_3(\vec{u}) = \sin(3u_3) \right\}.$$

Задав $\tilde{\theta}^0 = 0$, $\varepsilon = 10^{-4}$, $\omega^{(i)} = 1.0$ ($i = 1, \dots, 10$), оцените методом последовательной идентификации параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	-1.2	-1.4	-1.6	-1.8	-2.0	-2.2	-2.4	-2.6	-2.8	-3.0
$u_2^{(i)}$	7.5	7.0	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0
$u_3^{(i)}$	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
$y^{(i)}$	1.70	1.62	-0.22	-2.74	-4.11	-3.42	-1.50	-0.07	-0.23	-1.38

Вариант 10. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}),$$

$$\vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\}, \vec{f}(\vec{u}) = \{f_1(\vec{u}) = u_1 u_2, f_2(\vec{u}) = \sin(u_2), f_3(\vec{u}) = \cos(u_3)\}.$$

Задав $\tilde{\theta}^0 = 0$, $\varepsilon = 10^{-7}$, $\omega^{(i)} = 1.0$ ($i = 1, \dots, 10$), оцените методом последовательной идентификации параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	-1.2	-1.4	-1.6	-1.8	-2.0	-2.2	-2.4	-2.6	-2.8	-3.0
$u_2^{(i)}$	1.5	1.0	0.5	0.0	-0.5	-1.0	-1.5	-2.0	-2.5	-3.0
$u_3^{(i)}$	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0
$y^{(i)}$	-4.40	-3.52	-2.43	-0.97	1.10	4.02	7.96	12.99	19.08	26.06

Вариант 11. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}),$$

$$\vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\}, \vec{f}(\vec{u}) = \{f_1(\vec{u}) = e^{u_1}, f_2(\vec{u}) = \sin(u_2), f_3(\vec{u}) = \cos(u_3)\}.$$

Задав $\tilde{\theta}^0 = 0$, $\varepsilon = 10^{-5}$, $\omega^{(i)} = 1.0$ ($i = 1, \dots, 10$), оцените методом последовательной идентификации параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0
$u_2^{(i)}$	-1.5	-1.0	-0.5	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
$u_3^{(i)}$	1.5	1.0	0.5	0.0	-0.5	-1.0	-1.5	-2.0	-2.5	-3.0
$y^{(i)}$	-0.35	1.59	4.52	8.23	12.47	16.99	21.65	26.49	31.78	37.98

Вариант 12. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}),$$

$$\vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\}, \vec{f}(\vec{u}) = \left\{ f_1(\vec{u}) = u_1, f_2(\vec{u}) = (u_2)^2, f_3(\vec{u}) = (u_3)^3 \right\}.$$

Задав $\tilde{\theta}^0 = 0$, $\varepsilon = 10^{-5}$, $\omega^{(i)} = 1.0$ ($i = 1, \dots, 10$), оцените методом последовательной идентификации параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
$u_2^{(i)}$	-1.5	-1.0	-0.5	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
$u_3^{(i)}$	-1.1	-0.9	-0.7	-0.5	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.5	0.7
$y^{(i)}$	6.01	3.81	2.97	3.63	5.92	10.00	16.00	24.08	34.38	47.03

Вариант 13. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}), \vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\},$$

$$\vec{f}(\vec{u}) = \left\{ f_1(\vec{u}) = u_1, f_2(\vec{u}) = (u_2)^2, f_3(\vec{u}) = 1/u_3 \right\}.$$

Задав $\tilde{\theta}^0 = 0$, $\varepsilon = 10^{-5}$, $\omega^{(i)} = 1.0$ ($i = 1, \dots, 10$), оцените методом последовательной идентификации параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0
$u_2^{(i)}$	-1.5	-1.4	-1.3	-1.2	-1.1	-1.0	-0.9	-0.8	-0.7	-0.6
$u_3^{(i)}$	3.1	2.9	2.7	2.5	2.3	2.1	1.9	1.7	1.5	1.3
$y^{(i)}$	3.83	3.68	3.55	3.44	3.36	3.31	3.30	3.32	3.39	3.51

Вариант 14. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}), \vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\},$$

$$\vec{f}(\vec{u}) = \{f_1(\vec{u}) = u_1, f_2(\vec{u}) = \sin(3u_1), f_3(\vec{u}) = \cos(u_1 + u_2 + u_3)\}.$$

Задав $\tilde{\theta}^0 = 0$, $\varepsilon = 10^{-5}$, $\omega^{(i)} = 1.0$ ($i = 1, \dots, 10$), оцените методом последовательной идентификации параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
$u_2^{(i)}$	-1.5	-1.4	-1.3	-1.2	-1.1	-1.0	-0.9	-0.8	-0.7	-0.6
$u_3^{(i)}$	2.1	1.9	1.7	1.5	1.3	1.1	0.9	0.7	0.5	0.3
$y^{(i)}$	3.17	4.01	4.20	3.68	2.69	1.58	0.78	0.58	1.08	2.12

Вариант 15. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}), \vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\},$$

$$\vec{f}(\vec{u}) = \{f_1(\vec{u}) = u_1, f_2(\vec{u}) = \operatorname{tg}(u_2), f_3(\vec{u}) = \sin(u_3)\}.$$

Задав $\tilde{\theta}^0 = 0$, $\varepsilon = 10^{-6}$, $\omega^{(i)} = 1.0$ ($i = 1, \dots, 10$), оцените методом последовательной идентификации параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1.0	-1.2	-1.4	-1.6	-1.8	-2.0
$u_2^{(i)}$	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4
$u_3^{(i)}$	1.1	0.9	0.7	0.5	0.3	0.1	-0.1	-0.3	-0.5	-0.7
$y^{(i)}$	0.98	0.47	-0.17	-0.93	-1.77	-2.65	-3.55	-4.43	-5.25	-5.99

Вариант 16. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}), \vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\},$$

$$\vec{f}(\vec{u}) = \{f_1(\vec{u}) = \sin(u_1), f_2(\vec{u}) = \sin(2u_2), f_3(\vec{u}) = \sin(3u_3)\}.$$

Задав $\tilde{\theta}^0 = 0$, $\varepsilon = 10^{-4}$, $\omega^{(i)} = 1.0$ ($i = 1, \dots, 10$), оцените методом последовательной идентификации параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0
$u_2^{(i)}$	5.5	5.4	5.3	5.2	5.1	5.0	4.9	4.8	4.7	4.6
$u_3^{(i)}$	-1.1	-0.9	-0.7	-0.5	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.5	0.7
$y^{(i)}$	-8.65	-8.89	-7.51	-5.13	-2.65	-0.93	-0.50	-1.38	-3.07	-4.74

Вариант 17. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}), \vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\},$$

$$\vec{f}(\vec{u}) = \{f_1(\vec{u}) = \cos(3u_1), f_2(\vec{u}) = \cos(2u_2), f_3(\vec{u}) = \cos(u_3)\}.$$

Задав $\tilde{\theta}^0 = 0$, $\varepsilon = 10^{-5}$, $\omega^{(i)} = 1.0$ ($i = 1, \dots, 10$), оцените методом последовательной идентификации параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
$u_2^{(i)}$	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6
$u_3^{(i)}$	1.1	0.9	0.7	0.5	0.3	0.1	-0.1	-0.3	-0.5	-0.7
$y^{(i)}$	0.97	0.30	-0.78	-1.58	-1.52	-0.33	1.85	4.49	6.85	8.25

Вариант 18. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}), \quad \vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\},$$

$$\vec{f}(\vec{u}) = \{f_1(\vec{u}) = \operatorname{tg}(u_1), f_2(\vec{u}) = \ln(u_2), f_3(\vec{u}) = \sin(u_3)\}.$$

Задав $\tilde{\theta}^0 = 0$, $\varepsilon = 10^{-5}$, $\omega^{(i)} = 1.0$ ($i = 1, \dots, 10$), оцените методом последовательной идентификации параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	10.2	10.4	10.6	10.8	11.0	11.2	11.4	11.6	11.8	12.0
$u_2^{(i)}$	5.5	5.4	5.3	5.2	5.1	4.0	4.9	4.8	4.7	4.6
$u_3^{(i)}$	11.1	10.9	10.7	10.5	10.3	10.1	9.9	9.7	9.5	9.3
$y^{(i)}$	16.62	21.36	30.81	58.06	-2250.80	-38.03	-11.37	-0.49	6.50	11.92

Вариант 19. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}), \quad \vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\},$$

$$\vec{f}(\vec{u}) = \{f_1(\vec{u}) = e^{-u_1}, f_2(\vec{u}) = e^{-u_2}, f_3(\vec{u}) = e^{-u_3}\}.$$

Задав $\tilde{\theta}^0 = 0$, $\varepsilon = 10^{-5}$, $\omega^{(i)} = 1.0$ ($i = 1, \dots, 10$), оцените методом последовательной идентификации параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
$u_2^{(i)}$	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6
$u_3^{(i)}$	2.1	1.9	1.7	1.5	1.3	1.1	0.9	0.7	0.5	0.3
$y^{(i)}$	9.54	8.59	7.95	7.61	7.53	7.73	8.19	8.93	9.99	11.39

Вариант 20. Дана модель системы:

$$y = \theta_1 f_1(\vec{u}) + \theta_2 f_2(\vec{u}) + \theta_3 f_3(\vec{u}), \quad \vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\},$$

$$\vec{f}(\vec{u}) = \{f_1(\vec{u}) = \sin(u_1), f_2(\vec{u}) = \cos(u_2), f_3(\vec{u}) = \sin(u_1 + u_2 + u_3)\}.$$

Задав $\tilde{\theta}^0 = 0$, $\varepsilon = 10^{-5}$, $\omega^{(i)} = 1.0$ ($i = 1, \dots, 10$), оцените методом последовательной идентификации параметры модели по результатам измерений входного $\vec{u}^{(i)}$ и выходного $y^{(i)}$ сигналов:

Сигнал	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$u_1^{(i)}$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
$u_2^{(i)}$	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6
$u_3^{(i)}$	9.1	8.9	8.7	8.5	8.3	8.1	7.9	7.7	7.5	7.3
$y^{(i)}$	-8.18	-6.62	-5.08	-3.63	-2.32	-1.18	-0.25	0.44	0.89	1.10

5.3 Лабораторная работа № 1

Задание

Идентификация стационарных систем с математической моделью вида $\dot{\vec{x}}(t) = A\vec{x}(t) + B\vec{u}(t)$ методом максимального правдоподобия.

В рамках лабораторной работы необходимо выполнить задания NA, NB, NC (N – номер примера; A, B, C – варианты).

Идентифицировать стационарную систему $\dot{\vec{x}}(t) = A\vec{x}(t) + B\vec{u}(t)$, заменив непрерывную модель дискретным аналогом, используя для производных формулы правосторонних разностей.

Идентифицировать стационарную систему, исходя из гипотезы о том, что изучаемый объект может быть описан системой двух обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка с постоянными коэффициентами. В качестве независимой переменной рассматривается время t . Задача формулируется следующим образом. По результатам измерений

векторов входного сигнала $\vec{u}(t) = \{u_1(t), u_2(t)\}$ и переменных состояния $\vec{x}(t) = \{x_1(t), x_2(t)\}$ на заданном интервале изменения независимой переменной (времени) $t \in [t_0, T]$ идентифицировать систему (найти параметры), которая в соответствии с принятой гипотезой описывается системой из двух обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка с постоянными коэффициентами. Эти уравнения, представляющие собой *математическое выражение априорно принятой гипотезы о внутреннем устройстве реальной системы*, имеют вид:

$$\begin{cases} \frac{dx_1(t)}{dt} = a_{11}x_1(t) + a_{12}x_2(t) + b_{11}u_1(t), \\ \frac{dx_2(t)}{dt} = a_{21}x_1(t) + a_{22}x_2(t) + b_{22}u_2(t), \end{cases} \quad t \in [t_0, T], \quad \vec{y} = E\vec{x}. \quad (1.1)$$

Повторим, что эти уравнения представляют собой *математическое выражение априорно принятой гипотезы о внутреннем устройстве реальной системы*. Эта запись является результатом первого этапа исследований, на котором экспериментатор в итоге предварительных наблюдений за реальной системой ответил на следующие вопросы:

1. Оценил количество входов (два в этом случае) и принял, что входное воздействие описывается измеряемой функцией $\vec{u}(t) = \{u_1(t), u_2(t)\}$.
2. Оценил количество измеряемых переменных состояния (две в этом примере), для которых принял обозначения $x_1(t)$, $x_2(t)$ соответственно.
3. Принял предположение о том, что система стационарна, т. е. внутренние параметры (коэффициенты в системе уравнений) не изменяются, по крайней мере в течение времени идентификации $t \in [t_0, T]$.
4. Принял допущение, что изучаемая система (устройство) может быть описана системой двух обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка с постоянными коэффициентами.

Результатом этого предварительного этапа и является математическое оформление гипотезы в виде уравнения (1.1).

Результаты измерений (второй этап идентификации)

Следующий этап изучения системы – измерения, постановка опыта. В данном случае предполагается, что выполнены измерения непосредственно компонент $x_1(t)$, $x_2(t)$ вектора переменных состояния и входного сигнала $\vec{u}(t) = \{u_1(t), u_2(t)\}$ в дискретном наборе равноотстоящих узлов на оси времени, т. е. с постоянным шагом по времени $\Delta t = \frac{T - t_0}{N}$ с. Результаты измерений зафиксированы в таблицах $N.1A$, $N.1B$, $N.1C$. (N – номер примера; A , B , C – варианты).

Оценка параметров (третий этап идентификации)

Требуется найти параметры $a_{11}, a_{12}, b_{11}, a_{21}, a_{22}, b_{22}$ модели методом максимального правдоподобия (заменив непрерывную модель системы её дискретным аналогом).

Выполнение работы по идентификации линейных динамических систем методом максимального правдоподобия в результате перехода к дискретной модели

1. Запишите в соответствии с выбранным вариантом задания уравнения линейной динамической системы (см. п. 2.3 учебного пособия [1]).
2. Запишите уравнения дискретной модели системы (см. п. 2.3.2 учебного пособия [1], формулы (2.49)–(2.52)).
3. Напишите в любом доступном пакете программу вычисления по результатам измерений векторов входного сигнала и переменных состояния, которые даны в таблицах, расширенной матрицы плана эксперимента –

матрицы коэффициентов исходной системы уравнений для оценки параметров каждого из двух уравнений модели (см., например, табл. 2.2 пп. 2.3.2 учебного пособия [1]).

4. Запрограммируйте процедуру вычисления информационных матриц и векторов правых частей для записи нормальных систем уравнений (см. формулы (2.56), (2.57) учебного пособия [1], пп. 2.3.3).

5. Решите системы нормальных уравнений для получения оценки параметров.

6. Запишите систему дифференциальных уравнений модели с полученными оценками коэффициентов.

В отчете приведите описание выполнения перечисленных этапов работы.

5.4 Лабораторная работа № 2

Задание

Идентификация стационарных систем с математической моделью вида $\dot{\vec{x}}(t) = A\vec{x}(t) + B\vec{u}(t)$ методом последовательной регрессии.

В рамках лабораторной работы необходимо выполнить задания NA, NB, NC (N – номер примера; A, B, C – варианты).

Идентифицировать стационарную систему $\dot{\vec{x}}(t) = A\vec{x}(t) + B\vec{u}(t)$, заменив непрерывную модель дискретным аналогом, используя для производных формулы правосторонних разностей.

Идентифицировать стационарную систему с моделью:

$$\begin{cases} \frac{dx_1(t)}{dt} = a_{11}x_1(t) + a_{12}x_2(t) + b_{11}u_1(t), \\ \frac{dx_2(t)}{dt} = a_{21}x_1(t) + a_{22}x_2(t) + b_{22}u_2(t), \quad t \in [t_0, T], \end{cases} \quad \vec{y} = E\vec{x}$$

по результатам измерений компонент $x_1(t)$, $x_2(t)$ вектора переменных состояния и входного сигнала $\vec{u}(t) = \{u_1(t), u_2(t)\}$ в дискретном наборе равноотстоящих узлов на оси времени, т. е. с постоянным шагом по времени $\Delta t = \frac{T - t_0}{N}$ с. Результаты измерений зафиксированы в виде таблиц $N.1A$, $N.1B$, $N.1C$. (N – номер примера; A , B , C – варианты).

Требуется найти параметры $a_{11}, a_{12}, b_{11}, a_{21}, a_{22}, b_{22}$ модели методом последовательной идентификации (заменяв непрерывную модель системы её дискретным аналогом).

Выполнение работы по идентификации линейных динамических систем методом последовательной регрессии в результате перехода к дискретной модели

1. Запишите в соответствии с вариантом задания уравнения линейной динамической системы (см. п. 2.3 учебного пособия [1]).

2. Запишите уравнения дискретной модели системы (см. п. 2.3.2 учебного пособия [1], формулы (2.49)–(2.52)).

3. Задайте начальную оценку параметров $\tilde{\theta}_i^0$ и матрицы P_i^0 (рекомендуются оценки $\tilde{\theta}_i^0 = 0$, $P_i^0 = \frac{1}{\varepsilon} E$, $\varepsilon = 10^{-3} \div 10^{-8}$), а также весовые коэффициенты $\omega^{(r)}$ (рекомендуется $\omega^{(r)} = 1$).

4. Напишите в любом доступном пакете программу, реализующую итерационную процедуру уточнения параметров по результатам измерений векторов входного сигнала и переменных состояния, которые даны в таблицах, для каждого из двух уравнений модели (см. формулы (2.84) учебного пособия [1], пп. 2.3.4).

5. Запишите систему дифференциальных уравнений модели с полученными оценками коэффициентов.

В отчете приведите описание выполнения перечисленных этапов работы.

Вариант 1А

Таблица 1.1А – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t) = u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.5000E+01	0.1900E+02	0.0000E+00
2	0.1000E+00	0.5291E+01	0.2007E+02	0.1000E+00
3	0.2000E+00	0.5568E+01	0.2109E+02	0.2000E+00
4	0.3000E+00	0.5835E+01	0.2208E+02	0.3000E+00
5	0.4000E+00	0.6098E+01	0.2305E+02	0.4000E+00
6	0.5000E+00	0.6361E+01	0.2403E+02	0.5000E+00
7	0.6000E+00	0.6627E+01	0.2503E+02	0.6000E+00
8	0.7000E+00	0.6900E+01	0.2605E+02	0.7000E+00
9	0.8000E+00	0.7184E+01	0.2711E+02	0.8000E+00
10	0.9000E+00	0.7481E+01	0.2823E+02	0.9000E+00
11	0.1000E+01	0.7793E+01	0.2941E+02	0.1000E+01
12	0.1100E+01	0.8123E+01	0.3065E+02	0.1100E+01
13	0.1200E+01	0.8473E+01	0.3197E+02	0.1200E+01
14	0.1300E+01	0.8845E+01	0.3338E+02	0.1300E+01
15	0.1400E+01	0.9240E+01	0.3487E+02	0.1400E+01
16	0.1500E+01	0.9661E+01	0.3647E+02	0.1500E+01
17	0.1600E+01	0.1011E+02	0.3816E+02	0.1600E+01
18	0.1700E+01	0.1058E+02	0.3996E+02	0.1700E+01
19	0.1800E+01	0.1109E+02	0.4186E+02	0.1800E+01
20	0.1900E+01	0.1162E+02	0.4388E+02	0.1900E+01
21	0.2000E+01	0.1219E+02	0.4602E+02	0.2000E+01
22	0.2100E+01	0.1279E+02	0.4828E+02	0.2100E+01
23	0.2200E+01	0.1342E+02	0.5066E+02	0.2200E+01
24	0.2300E+01	0.1408E+02	0.5317E+02	0.2300E+01
25	0.2400E+01	0.1478E+02	0.5580E+02	0.2400E+01
26	0.2500E+01	0.1551E+02	0.5857E+02	0.2500E+01
27	0.2600E+01	0.1627E+02	0.6147E+02	0.2600E+01
28	0.2700E+01	0.1708E+02	0.6450E+02	0.2700E+01
29	0.2800E+01	0.1792E+02	0.6766E+02	0.2800E+01
30	0.2900E+01	0.1879E+02	0.7096E+02	0.2900E+01
31	0.3000E+02	0.1970E+02	0.7440E+02	0.3000E+02

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.3944E+02, \tilde{a}_{12} = 0.1053E+02, \tilde{b}_{11} = 0.1088E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1397E+03, \tilde{a}_{22} = 0.3731E+02, \tilde{b}_{22} = 0.4208E+01. \end{aligned} \quad (1.2A)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 05$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.3942E+02, \tilde{a}_{12} = 0.1052E+02, \tilde{b}_{11} = 0.1088E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1396E+03, \tilde{a}_{22} = 0.3727E+02, \tilde{b}_{22} = 0.4206E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (1.3A)$$

Вариант 2А

Таблица 2.1А – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t) = u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.1000E+01	0.7500E+00	0.1250E+00
2	0.1000E+00	0.1076E+01	0.7589E+00	0.1225E+00
3	0.2000E+00	0.1152E+01	0.7596E+00	0.1151E+00
4	0.3000E+00	0.1227E+01	0.7501E+00	0.1032E+00
5	0.4000E+00	0.1301E+01	0.7285E+00	0.8709E-01
6	0.5000E+00	0.1372E+01	0.6926E+00	0.6754E-01
7	0.6000E+00	0.1439E+01	0.6403E+00	0.4529E-01
8	0.7000E+00	0.1500E+01	0.5692E+00	0.2125E-01
9	0.8000E+00	0.1552E+01	0.4770E+00	-0.3650E-02
10	0.9000E+00	0.1594E+01	0.3615E+00	-0.2840E-01
11	0.1000E+01	0.1624E+01	0.2203E+00	-0.5202E-01
12	0.1100E+01	0.1637E+01	0.5114E-01	-0.7356E-01
13	0.1200E+01	0.1633E+01	-0.1482E+00	-0.9217E-01
14	0.1300E+01	0.1607E+01	-0.3799E+00	-0.1071E+00
15	0.1400E+01	0.1556E+01	-0.6458E+00	-0.1178E+00
16	0.1500E+01	0.1476E+01	-0.9478E+00	-0.1237E+00
17	0.1600E+01	0.1365E+01	-0.1288E+01	-0.1248E+00
18	0.1700E+01	0.1218E+01	-0.1667E+01	-0.1208E+00
19	0.1800E+01	0.1030E+01	-0.2086E+01	-0.1121E+00
20	0.1900E+01	0.7990E+00	-0.2547E+01	-0.9887E-01
21	0.2000E+01	0.5195E+00	-0.3050E+01	-0.8171E-01
22	0.2100E+01	0.1876E+00	-0.3595E+01	-0.6128E-01
23	0.2200E+01	-0.2009E+00	-0.4183E+01	-0.3842E-01
24	0.2300E+01	-0.6503E+00	-0.4812E+01	-0.1402E-01
25	0.2400E+01	-0.1165E+01	-0.5482E+01	0.1094E-01
26	0.2500E+01	-0.1748E+01	-0.6192E+01	0.3546E-01
27	0.2600E+01	-0.2404E+01	-0.6939E+01	0.5856E-01
28	0.2700E+01	-0.3137E+01	-0.7720E+01	0.7934E-01
29	0.2800E+01	-0.3949E+01	-0.8532E+01	0.9695E-01
30	0.2900E+01	-0.4844E+01	-0.9370E+01	0.1107E+00
31	0.3000E+02	-0.5824E+01	-0.1023E+02	0.1200E+00

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.5915E-01, \tilde{a}_{12} = 0.1077E+01, \tilde{b}_{11} = 0.5039E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1214E+01, \tilde{a}_{22} = 0.1556E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1033E+01. \end{aligned} \quad (2.2A)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E-04$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.5915E-01, \tilde{a}_{12} = 0.1077E+01, \tilde{b}_{11} = 0.5037E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1214E+01, \tilde{a}_{22} = 0.1556E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1033E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (2.3A)$$

Вариант 3А

Таблица 3.1А – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t) = u_2(t)$
1	0.0000E+00	-0.2000E+01	0.1000E+01	0.0000E+00
2	0.1000E+00	-0.1880E+01	0.1415E+01	0.4000E+00
3	0.2000E+00	-0.1724E+01	0.1794E+01	0.8000E+00
4	0.3000E+00	-0.1533E+01	0.2133E+01	0.1200E+01
5	0.4000E+00	-0.1313E+01	0.2427E+01	0.1600E+01
6	0.5000E+00	-0.1068E+01	0.2674E+01	0.2000E+01
7	0.6000E+00	-0.8015E+00	0.2871E+01	0.2400E+01
8	0.7000E+00	-0.5185E+00	0.3020E+01	0.2800E+01
9	0.8000E+00	-0.2235E+00	0.3120E+01	0.3200E+01
10	0.9000E+00	0.7918E-01	0.3175E+01	0.3600E+01
11	0.1000E+01	0.3854E+00	0.3188E+01	0.4000E+01
12	0.1100E+01	0.6913E+00	0.3161E+01	0.4400E+01
13	0.1200E+01	0.9935E+00	0.3100E+01	0.4800E+01
14	0.1300E+01	0.1289E+01	0.3009E+01	0.5200E+01
15	0.1400E+01	0.1575E+01	0.2894E+01	0.5600E+01
16	0.1500E+01	0.1850E+01	0.2758E+01	0.6000E+01
17	0.1600E+01	0.2112E+01	0.2608E+01	0.6400E+01
18	0.1700E+01	0.2359E+01	0.2448E+01	0.6800E+01
19	0.1800E+01	0.2592E+01	0.2284E+01	0.7200E+01
20	0.1900E+01	0.2809E+01	0.2119E+01	0.7600E+01
21	0.2000E+01	0.3011E+01	0.1957E+01	0.8000E+01
22	0.2100E+01	0.3198E+01	0.1802E+01	0.8400E+01
23	0.2200E+01	0.3372E+01	0.1657E+01	0.8800E+01
24	0.2300E+01	0.3532E+01	0.1525E+01	0.9200E+01
25	0.2400E+01	0.3681E+01	0.1407E+01	0.9600E+01
26	0.2500E+01	0.3819E+01	0.1304E+01	0.1000E+02
27	0.2600E+01	0.3949E+01	0.1219E+01	0.1040E+02
28	0.2700E+01	0.4071E+01	0.1151E+01	0.1080E+02
29	0.2800E+01	0.4188E+01	0.1099E+01	0.1120E+02
30	0.2900E+01	0.4300E+01	0.1065E+01	0.1160E+02
31	0.3000E+02	0.4410E+01	0.1047E+01	0.1200E+02

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.1361E+00, \tilde{a}_{12} = 0.8976E+00, \tilde{b}_{11} = 0.6444E - 01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.2605E+01, \tilde{a}_{22} = -0.1085E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1051E+01. \end{aligned} \quad (3.2A)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 05$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.1361E+00, \tilde{a}_{12} = 0.8976E+00, \tilde{b}_{11} = 0.6444E - 01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.2605E+01, \tilde{a}_{22} = -0.1085E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1051E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (3.3A)$$

Вариант 4А

Таблица 4.1А – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t) = u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.1500E+01	0.1000E+01	0.1000E+01
2	0.1047E+00	0.1597E+01	0.8457E+00	0.9945E+00
3	0.2094E+00	0.1677E+01	0.6968E+00	0.9781E+00
4	0.3142E+00	0.1743E+01	0.5533E+00	0.9511E+00
5	0.4189E+00	0.1793E+01	0.4151E+00	0.9135E+00
6	0.5236E+00	0.1830E+01	0.2820E+00	0.8660E+00
7	0.6283E+00	0.1853E+01	0.1541E+00	0.8090E+00
8	0.7330E+00	0.1862E+01	0.3116E-01	0.7431E+00
9	0.8378E+00	0.1859E+01	-0.8683E-01	0.6691E+00
10	0.9425E+00	0.1844E+01	-0.1999E+00	0.5878E+00
11	0.1047E+01	0.1818E+01	-0.3081E+00	0.5000E+00
12	0.1152E+01	0.1780E+01	-0.4113E+00	0.4067E+00
13	0.1257E+01	0.1732E+01	-0.5095E+00	0.3090E+00
14	0.1361E+01	0.1673E+01	-0.6025E+00	0.2079E+00
15	0.1466E+01	0.1606E+01	-0.6902E+00	0.1045E+00
16	0.1571E+01	0.1529E+01	-0.7723E+00	0.7550E-07
17	0.1676E+01	0.1444E+01	-0.8486E+00	-0.1045E+00
18	0.1780E+01	0.1351E+01	-0.9188E+00	-0.2079E+00
19	0.1885E+01	0.1252E+01	-0.9826E+00	-0.3090E+00
20	0.1990E+01	0.1146E+01	-0.1040E+01	-0.4067E+00
21	0.2094E+01	0.1034E+01	-0.1090E+01	-0.5000E+00
22	0.2199E+01	0.9179E+00	-0.1133E+01	-0.5878E+00
23	0.2304E+01	0.7974E+00	-0.1168E+01	-0.6691E+00
24	0.2409E+01	0.6736E+00	-0.1195E+01	-0.7431E+00
25	0.2513E+01	0.5473E+00	-0.1214E+01	-0.8090E+00
26	0.2618E+01	0.4195E+00	-0.1225E+01	-0.8660E+00
27	0.2723E+01	0.2911E+00	-0.1227E+01	-0.9135E+00
28	0.2827E+01	0.1629E+00	-0.1220E+01	-0.9511E+00
29	0.2932E+01	0.3584E-01	-0.1205E+01	-0.9781E+00
30	0.3037E+01	-0.8911E-01	-0.1180E+01	-0.9945E+00
31	0.3142E+01	-0.2110E+00	-0.1147E+01	-0.1000E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.5026E-01, \tilde{a}_{12} = 0.9504E+00, \tilde{b}_{11} = 0.4772E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.9487E+00, \tilde{a}_{22} = -0.9398E+00, \tilde{b}_{22} = 0.8940E+00. \end{aligned} \quad (4.2A)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E-04$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.5031E-01, \tilde{a}_{12} = 0.9503E+00, \tilde{b}_{11} = 0.4788E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.9487E+00, \tilde{a}_{22} = -0.9399E+00, \tilde{b}_{22} = 0.8942E+00, (r = 30). \end{aligned} \quad (4.3A)$$

Вариант 5А

Таблица 5.1А – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t) = u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.1000E+01	0.0000E+00
2	0.1000E+00	0.9533E-01	0.9097E+00	0.1000E+00
3	0.2000E+00	0.1825E+00	0.8375E+00	0.2000E+00
4	0.3000E+00	0.2634E+00	0.7816E+00	0.3000E+00
5	0.4000E+00	0.3394E+00	0.7406E+00	0.4000E+00
6	0.5000E+00	0.4119E+00	0.7131E+00	0.5000E+00
7	0.6000E+00	0.4824E+00	0.6976E+00	0.6000E+00
8	0.7000E+00	0.5518E+00	0.6932E+00	0.7000E+00
9	0.8000E+00	0.6213E+00	0.6987E+00	0.8000E+00
10	0.9000E+00	0.6919E+00	0.7131E+00	0.9000E+00
11	0.1000E+01	0.7642E+00	0.7358E+00	0.1000E+01
12	0.1100E+01	0.8393E+00	0.7657E+00	0.1100E+01
13	0.1200E+01	0.9176E+00	0.8024E+00	0.1200E+01
14	0.1300E+01	0.9999E+00	0.8451E+00	0.1300E+01
15	0.1400E+01	0.1087E+01	0.8932E+00	0.1400E+01
16	0.1500E+01	0.1179E+01	0.9463E+00	0.1500E+01
17	0.1600E+01	0.1276E+01	0.1004E+01	0.1600E+01
18	0.1700E+01	0.1380E+01	0.1065E+01	0.1700E+01
19	0.1800E+01	0.1489E+01	0.1131E+01	0.1800E+01
20	0.1900E+01	0.1606E+01	0.1199E+01	0.1900E+01
21	0.2000E+01	0.1729E+01	0.1271E+01	0.2000E+01
22	0.2100E+01	0.1860E+01	0.1345E+01	0.2100E+01
23	0.2200E+01	0.1998E+01	0.1422E+01	0.2200E+01
24	0.2300E+01	0.2144E+01	0.1501E+01	0.2300E+01
25	0.2400E+01	0.2299E+01	0.1581E+01	0.2400E+01
26	0.2500E+01	0.2461E+01	0.1664E+01	0.2500E+01
27	0.2600E+01	0.2631E+01	0.1749E+01	0.2600E+01
28	0.2700E+01	0.2811E+01	0.1834E+01	0.2700E+01
29	0.2800E+01	0.2998E+01	0.1922E+01	0.2800E+01
30	0.2900E+01	0.3195E+01	0.2010E+01	0.2900E+01
31	0.3000E+02	0.3400E+01	0.2100E+01	0.3000E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.3815E-02, \tilde{a}_{12} = 0.9537E+00, \tilde{b}_{11} = 0.5119E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.6926E-01, \tilde{a}_{22} = -0.8891E+00, \tilde{b}_{22} = 0.9990E+00. \end{aligned} \quad (5.2A)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E-05$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.3825E-02, \tilde{a}_{12} = 0.9537E+00, \tilde{b}_{11} = 0.5120E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.6926E-01, \tilde{a}_{22} = -0.8891E+00, \tilde{b}_{22} = 0.9990E+00, (r = 30). \end{aligned} \quad (5.3A)$$

Вариант 6А

Таблица 6.1А – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t) = u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.5551E-16	0.0000E+00	0.1000E+01
2	0.1000E-01	0.1010E-01	0.9902E-02	0.9900E+00
3	0.2000E-01	0.2040E-01	0.1962E-01	0.9802E+00
4	0.3000E-01	0.3091E-01	0.2917E-01	0.9704E+00
5	0.4000E-01	0.4163E-01	0.3855E-01	0.9608E+00
6	0.5000E-01	0.5257E-01	0.4780E-01	0.9512E+00
7	0.6000E-01	0.6372E-01	0.5691E-01	0.9418E+00
8	0.7000E-01	0.7509E-01	0.6591E-01	0.9324E+00
9	0.8000E-01	0.8669E-01	0.7480E-01	0.9231E+00
10	0.9000E-01	0.9852E-01	0.8359E-01	0.9139E+00
11	0.1000E+00	0.1106E+00	0.9230E-01	0.9048E+00
12	0.1100E+00	0.1229E+00	0.1009E+00	0.8958E+00
13	0.1200E+00	0.1354E+00	0.1095E+00	0.8869E+00
14	0.1300E+00	0.1482E+00	0.1181E+00	0.8781E+00
15	0.1400E+00	0.1613E+00	0.1265E+00	0.8694E+00
16	0.1500E+00	0.1746E+00	0.1350E+00	0.8607E+00
17	0.1600E+00	0.1882E+00	0.1434E+00	0.8521E+00
18	0.1700E+00	0.2020E+00	0.1519E+00	0.8437E+00
19	0.1800E+00	0.2162E+00	0.1603E+00	0.8353E+00
20	0.1900E+00	0.2306E+00	0.1687E+00	0.8270E+00
21	0.2000E+00	0.2453E+00	0.1772E+00	0.8187E+00
22	0.2100E+00	0.2603E+00	0.1856E+00	0.8106E+00
23	0.2200E+00	0.2757E+00	0.1941E+00	0.8025E+00
24	0.2300E+00	0.2913E+00	0.2027E+00	0.7945E+00
25	0.2400E+00	0.3073E+00	0.2113E+00	0.7866E+00
26	0.2500E+00	0.3236E+00	0.2200E+00	0.7788E+00
27	0.2600E+00	0.3402E+00	0.2287E+00	0.7711E+00
28	0.2700E+00	0.3572E+00	0.2375E+00	0.7634E+00
29	0.2800E+00	0.3745E+00	0.2464E+00	0.7558E+00
30	0.2900E+00	0.3922E+00	0.2554E+00	0.7483E+00
31	0.3000E+00	0.4103E+00	0.2645E+00	0.7408E+00

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.2046E+01, \tilde{a}_{12} = 0.9764E+00, \tilde{b}_{11} = 0.1010E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= 0.2988E+01, \tilde{a}_{22} = -0.3930E+01, \tilde{b}_{22} = 0.9904E+00. \end{aligned} \quad (6.2A)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 05$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.2016E+01, \tilde{a}_{12} = 0.1022E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1009E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= 0.3031E+01, \tilde{a}_{22} = -0.3996E+01, \tilde{b}_{22} = 0.9915E+00, (r = 30). \end{aligned} \quad (6.3A)$$

Вариант 7А

Таблица 7.1А – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t) = u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.1000E+01	-0.1000E+01	0.1000E+01
2	0.1000E-01	0.9884E+00	-0.1335E+01	0.1010E+01
3	0.2000E-01	0.9732E+00	-0.1702E+01	0.1020E+01
4	0.3000E-01	0.9542E+00	-0.2103E+01	0.1030E+01
5	0.4000E-01	0.9310E+00	-0.2540E+01	0.1041E+01
6	0.5000E-01	0.9033E+00	-0.3017E+01	0.1051E+01
7	0.6000E-01	0.8705E+00	-0.3536E+01	0.1062E+01
8	0.7000E-01	0.8324E+00	-0.4100E+01	0.1073E+01
9	0.8000E-01	0.7884E+00	-0.4714E+01	0.1083E+01
10	0.9000E-01	0.7380E+00	-0.5379E+01	0.1094E+01
11	0.1000E+00	0.6806E+00	-0.6101E+01	0.1105E+01
12	0.1100E+00	0.6157E+00	-0.6884E+01	0.1116E+01
13	0.1200E+00	0.5427E+00	-0.7731E+01	0.1127E+01
14	0.1300E+00	0.4609E+00	-0.8647E+01	0.1139E+01
15	0.1400E+00	0.3695E+00	-0.9637E+01	0.1150E+01
16	0.1500E+00	0.2679E+00	-0.1071E+02	0.1162E+01
17	0.1600E+00	0.1551E+00	-0.1186E+02	0.1174E+01
18	0.1700E+00	0.3031E-01	-0.1311E+02	0.1185E+01
19	0.1800E+00	-0.1074E+00	-0.1445E+02	0.1197E+01
20	0.1900E+00	-0.2591E+00	-0.1590E+02	0.1209E+01
21	0.2000E+00	-0.4259E+00	-0.1746E+02	0.1221E+01
22	0.2100E+00	-0.6088E+00	-0.1915E+02	0.1234E+01
23	0.2200E+00	-0.8092E+00	-0.2096E+02	0.1246E+01
24	0.2300E+00	-0.1028E+01	-0.2290E+02	0.1259E+01
25	0.2400E+00	-0.1268E+01	-0.2499E+02	0.1271E+01
26	0.2500E+00	-0.1529E+01	-0.2724E+02	0.1284E+01
27	0.2600E+00	-0.1813E+01	-0.2966E+02	0.1297E+01
28	0.2700E+00	-0.2123E+01	-0.3226E+02	0.1310E+01
29	0.2800E+00	-0.2459E+01	-0.3505E+02	0.1323E+01
30	0.2900E+00	-0.2824E+01	-0.3804E+02	0.1336E+01
31	0.3000E+00	-0.3221E+01	-0.4125E+02	0.1350E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.8000E-01, \tilde{a}_{12} = 0.1047E+01, \tilde{b}_{11} = -0.41010E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.2533E+02, \tilde{a}_{22} = 0.1040E+02, \tilde{b}_{22} = 0.2238E+01. \end{aligned} \quad (7.2A)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E-08$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.7998E-01, \tilde{a}_{12} = 0.1047E+01, \tilde{b}_{11} = -0.4104E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.2533E+02, \tilde{a}_{22} = 0.1040E+02, \tilde{b}_{22} = 0.2238E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (7.3A)$$

Вариант 8А

Таблица 8.1А – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.0000E+00	-0.3333E+00	0.1000E+01	0.1000E+01
2	0.1000E-01	-0.2552E-03	-0.3503E+00	0.1000E+01	0.1000E+01
3	0.2000E-01	-0.1042E-02	-0.3680E+00	0.9998E+00	0.9998E+00
4	0.3000E-01	-0.2395E-02	-0.3865E+00	0.9996E+00	0.9996E+00
5	0.4000E-01	-0.4348E-02	-0.4057E+00	0.9992E+00	0.9992E+00
6	0.5000E-01	-0.6939E-02	-0.4257E+00	0.9988E+00	0.9988E+00
7	0.6000E-01	-0.1021E-01	-0.4466E+00	0.9982E+00	0.9982E+00
8	0.7000E-01	-0.1419E-01	-0.4683E+00	0.9976E+00	0.9976E+00
9	0.8000E-01	-0.1893E-01	-0.4910E+00	0.9968E+00	0.9968E+00
10	0.9000E-01	-0.2448E-01	-0.5146E+00	0.9960E+00	0.9960E+00
11	0.1000E+00	-0.3089E-01	-0.5393E+00	0.9950E+00	0.9950E+00
12	0.1100E+00	-0.3819E-01	-0.5650E+00	0.9940E+00	0.9940E+00
13	0.1200E+00	-0.4646E-01	-0.5919E+00	0.9928E+00	0.9928E+00
14	0.1300E+00	-0.5573E-01	-0.6199E+00	0.9916E+00	0.9916E+00
15	0.1400E+00	-0.6607E-01	-0.6492E+00	0.9902E+00	0.9902E+00
16	0.1500E+00	-0.7754E-01	-0.6798E+00	0.9888E+00	0.9888E+00
17	0.1600E+00	-0.9021E-01	-0.7118E+00	0.9872E+00	0.9872E+00
18	0.1700E+00	-0.1041E+00	-0.7452E+00	0.9856E+00	0.9856E+00
19	0.1800E+00	-0.1194E+00	-0.7801E+00	0.9838E+00	0.9838E+00
20	0.1900E+00	-0.1361E+00	-0.8165E+00	0.9820E+00	0.9820E+00
21	0.2000E+00	-0.1542E+00	-0.8547E+00	0.9801E+00	0.9801E+00
22	0.2100E+00	-0.1739E+00	-0.8946E+00	0.9780E+00	0.9780E+00
23	0.2200E+00	-0.1953E+00	-0.9363E+00	0.9759E+00	0.9759E+00
24	0.2300E+00	-0.2184E+00	-0.9799E+00	0.9737E+00	0.9737E+00
25	0.2400E+00	-0.2434E+00	-0.1026E+01	0.9713E+00	0.9713E+00
26	0.2500E+00	-0.2703E+00	-0.1073E+01	0.9689E+00	0.9689E+00
27	0.2600E+00	-0.2993E+00	-0.1123E+01	0.9664E+00	0.9664E+00
28	0.2700E+00	-0.3304E+00	-0.1176E+01	0.9638E+00	0.9638E+00
29	0.2800E+00	-0.3638E+00	-0.1230E+01	0.9611E+00	0.9611E+00
30	0.2900E+00	-0.3996E+00	-0.1288E+01	0.9582E+00	0.9582E+00
31	0.3000E+00	-0.4379E+00	-0.1348E+01	0.9553E+00	0.9553E+00

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.2032E+01, \tilde{a}_{12} = 0.3094E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1006E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= 0.1032E+01, \tilde{a}_{22} = 0.4096E+01, \tilde{b}_{22} = -0.3353E+00. \end{aligned} \quad (8.2A)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.2031E+01, \tilde{a}_{12} = 0.3095E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1006E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= 0.1032E+01, \tilde{a}_{22} = 0.4096E+01, \tilde{b}_{22} = -0.3354E+00, (r = 30). \end{aligned} \quad (8.3A)$$

Вариант 9А

Таблица 9.1А – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.1000E+01	0.2000E+01	0.0000E+00	0.0000E+00
2	0.1047E+00	0.1204E+01	0.1890E+01	0.1047E+00	0.1047E+00
3	0.2094E+00	0.1395E+01	0.1770E+01	0.2094E+00	0.2094E+00
4	0.3142E+00	0.1574E+01	0.1642E+01	0.3142E+00	0.3142E+00
5	0.4189E+00	0.1739E+01	0.1507E+01	0.4189E+00	0.4189E+00
6	0.5236E+00	0.1890E+01	0.1366E+01	0.5236E+00	0.5236E+00
7	0.6283E+00	0.2025E+01	0.1221E+01	0.6283E+00	0.6283E+00
8	0.7330E+00	0.2145E+01	0.1074E+01	0.7330E+00	0.7330E+00
9	0.8378E+00	0.2250E+01	0.9260E+00	0.8378E+00	0.8378E+00
10	0.9425E+00	0.2339E+01	0.7788E+00	0.9425E+00	0.9425E+00
11	0.1047E+01	0.2413E+01	0.6340E+00	0.1047E+01	0.1047E+01
12	0.1152E+01	0.2472E+01	0.4932E+00	0.1152E+01	0.1152E+01
13	0.1257E+01	0.2517E+01	0.3580E+00	0.1257E+01	0.1257E+01
14	0.1361E+01	0.2547E+01	0.2298E+00	0.1361E+01	0.1361E+01
15	0.1466E+01	0.2565E+01	0.1100E+00	0.1466E+01	0.1466E+01
16	0.1571E+01	0.2571E+01	0.2679E-07	0.1571E+01	0.1571E+01
17	0.1676E+01	0.2566E+01	-0.9905E-01	0.1676E+01	0.1676E+01
18	0.1780E+01	0.2550E+01	-0.1861E+00	0.1780E+01	0.1780E+01
19	0.1885E+01	0.2527E+01	-0.2601E+00	0.1885E+01	0.1885E+01
20	0.1990E+01	0.2496E+01	-0.3203E+00	0.1990E+01	0.1990E+01
21	0.2094E+01	0.2460E+01	-0.3660E+00	0.2094E+01	0.2094E+01
22	0.2199E+01	0.2420E+01	-0.3968E+00	0.2199E+01	0.2199E+01
23	0.2304E+01	0.2378E+01	-0.4123E+00	0.2304E+01	0.2304E+01
24	0.2409E+01	0.2335E+01	-0.4123E+00	0.2409E+01	0.2409E+01
25	0.2513E+01	0.2292E+01	-0.3968E+00	0.2513E+01	0.2513E+01
26	0.2618E+01	0.2252E+01	-0.3660E+00	0.2618E+01	0.2618E+01
27	0.2723E+01	0.2216E+01	-0.3203E+00	0.2723E+01	0.2723E+01
28	0.2827E+01	0.2185E+01	-0.2601E+00	0.2827E+01	0.2827E+01
29	0.2932E+01	0.2162E+01	-0.1861E+00	0.2932E+01	0.2932E+01
30	0.3037E+01	0.2147E+01	-0.9905E-01	0.3037E+01	0.3037E+01
31	0.3142E+01	0.2142E+01	-0.5359E-07	0.3142E+01	0.3142E+01

Точное решение

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.5181E-01, \tilde{a}_{12} = 0.9987E+00, \tilde{b}_{11} = 0.5264E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.9837E+00, \tilde{a}_{22} = -0.3642E-01, \tilde{b}_{22} = 0.1007E+01. \end{aligned} \quad (9.2A)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E-06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.5181E-01, \tilde{a}_{12} = 0.9987E+00, \tilde{b}_{11} = 0.5264E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.9837E+00, \tilde{a}_{22} = -0.3642E-01, \tilde{b}_{22} = 0.1007E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (9.3A)$$

Вариант 10А

Таблица 10.1А – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.2000E+01	0.3000E+01	0.3000E+01	0.0000E+00	0.0000E+00
2	0.2100E+01	0.3300E+01	0.2985E+01	-0.3000E+00	-0.3000E+00
3	0.2200E+01	0.3596E+01	0.2940E+01	-0.6000E+00	-0.6000E+00
4	0.2300E+01	0.3887E+01	0.2865E+01	-0.9000E+00	-0.9000E+00
5	0.2400E+01	0.4168E+01	0.2760E+01	-0.1200E+01	-0.1200E+01
6	0.2500E+01	0.4438E+01	0.2625E+01	-0.1500E+01	-0.1500E+01
7	0.2600E+01	0.4692E+01	0.2460E+01	-0.1800E+01	-0.1800E+01
8	0.2700E+01	0.4929E+01	0.2265E+01	-0.2100E+01	-0.2100E+01
9	0.2800E+01	0.5144E+01	0.2040E+01	-0.2400E+01	-0.2400E+01
10	0.2900E+01	0.5335E+01	0.1785E+01	-0.2700E+01	-0.2700E+01
11	0.3000E+01	0.5500E+01	0.1500E+01	-0.3000E+01	-0.3000E+01
12	0.3100E+01	0.5634E+01	0.1185E+01	-0.3300E+01	-0.3300E+01
13	0.3200E+01	0.5736E+01	0.8400E+00	-0.3600E+01	-0.3600E+01
14	0.3300E+01	0.5801E+01	0.4650E+00	-0.3900E+01	-0.3900E+01
15	0.3400E+01	0.5828E+01	0.6000E-01	-0.4200E+01	-0.4200E+01
16	0.3500E+01	0.5812E+01	-0.3750E+00	-0.4500E+01	-0.4500E+01
17	0.3600E+01	0.5752E+01	-0.8400E+00	-0.4800E+01	-0.4800E+01
18	0.3700E+01	0.5644E+01	-0.1335E+01	-0.5100E+01	-0.5100E+01
19	0.3800E+01	0.5484E+01	-0.1860E+01	-0.5400E+01	-0.5400E+01
20	0.3900E+01	0.5270E+01	-0.2415E+01	-0.5700E+01	-0.5700E+01
21	0.4000E+01	0.5000E+01	-0.3000E+01	-0.6000E+01	-0.6000E+01
22	0.4100E+01	0.4669E+01	-0.3615E+01	-0.6300E+01	-0.6300E+01
23	0.4200E+01	0.4276E+01	-0.4260E+01	-0.6600E+01	-0.6600E+01
24	0.4300E+01	0.3817E+01	-0.4935E+01	-0.6900E+01	-0.6900E+01
25	0.4400E+01	0.3288E+01	-0.5640E+01	-0.7200E+01	-0.7200E+01
26	0.4500E+01	0.2688E+01	-0.6375E+01	-0.7500E+01	-0.7500E+01
27	0.4600E+01	0.2012E+01	-0.7140E+01	-0.7800E+01	-0.7800E+01
28	0.4700E+01	0.1258E+01	-0.7935E+01	-0.8100E+01	-0.8100E+01
29	0.4800E+01	0.4240E+00	-0.8760E+01	-0.8400E+01	-0.8400E+01
30	0.4900E+01	-0.4945E+00	-0.9615E+01	-0.8700E+01	-0.8700E+01
31	0.5000E+01	-0.1500E+01	-0.1050E+02	-0.9000E+01	-0.9000E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.1739E-02, \tilde{a}_{12} = 0.9972E+00, \tilde{b}_{11} = 0.5364E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= 0.5217E-01, \tilde{a}_{22} = -0.8445E-01, \tilde{b}_{22} = 0.1109E+01. \end{aligned} \quad (10.2A)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E-06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.1739E-02, \tilde{a}_{12} = 0.9972E+00, \tilde{b}_{11} = 0.5364E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= 0.5218E-01, \tilde{a}_{22} = -0.8445E-01, \tilde{b}_{22} = 0.1109E+01. (r = 30). \end{aligned} \quad (10.3A)$$

Вариант 11А

Таблица 11.1А – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	-0.2000E+01	0.0000E+00	0.1000E+01	0.1000E+01
2	0.8333E-01	-0.1997E+01	0.8353E-01	0.1007E+01	0.1007E+01
3	0.1667E+00	-0.1986E+01	0.1682E+00	0.1028E+01	0.1028E+01
4	0.2500E+00	-0.1968E+01	0.2552E+00	0.1062E+01	0.1062E+01
5	0.3333E+00	-0.1943E+01	0.3457E+00	0.1111E+01	0.1111E+01
6	0.4167E+00	-0.1911E+01	0.4408E+00	0.1174E+01	0.1174E+01
7	0.5000E+00	-0.1870E+01	0.5417E+00	0.1250E+01	0.1250E+01
8	0.5833E+00	-0.1820E+01	0.6495E+00	0.1340E+01	0.1340E+01
9	0.6667E+00	-0.1761E+01	0.7654E+00	0.1444E+01	0.1444E+01
10	0.7500E+00	-0.1692E+01	0.8906E+00	0.1562E+01	0.1562E+01
11	0.8333E+00	-0.1613E+01	0.1026E+01	0.1694E+01	0.1694E+01
12	0.9167E+00	-0.1521E+01	0.1173E+01	0.1840E+01	0.1840E+01
13	0.1000E+01	-0.1417E+01	0.1333E+01	0.2000E+01	0.2000E+01
14	0.1083E+01	-0.1298E+01	0.1507E+01	0.2174E+01	0.2174E+01
15	0.1167E+01	-0.1165E+01	0.1696E+01	0.2361E+01	0.2361E+01
16	0.1250E+01	-0.1015E+01	0.1901E+01	0.2562E+01	0.2562E+01
17	0.1333E+01	-0.8477E+00	0.2123E+01	0.2778E+01	0.2778E+01
18	0.1417E+01	-0.6609E+00	0.2364E+01	0.3007E+01	0.3007E+01
19	0.1500E+01	-0.4531E+00	0.2625E+01	0.3250E+01	0.3250E+01
20	0.1583E+01	-0.2228E+00	0.2906E+01	0.3507E+01	0.3507E+01
21	0.1667E+01	0.3189E-01	0.3210E+01	0.3778E+01	0.3778E+01
22	0.1750E+01	0.3128E+00	0.3536E+01	0.4062E+01	0.4062E+01
23	0.1833E+01	0.6220E+00	0.3887E+01	0.4361E+01	0.4361E+01
24	0.1917E+01	0.9614E+00	0.4264E+01	0.4674E+01	0.4674E+01
25	0.2000E+01	0.1333E+01	0.4667E+01	0.5000E+01	0.5000E+01
26	0.2083E+01	0.1740E+01	0.5097E+01	0.5340E+01	0.5340E+01
27	0.2167E+01	0.2184E+01	0.5557E+01	0.5694E+01	0.5694E+01
28	0.2250E+01	0.2667E+01	0.6047E+01	0.6062E+01	0.6062E+01
29	0.2333E+01	0.3192E+01	0.6568E+01	0.6444E+01	0.6444E+01
30	0.2417E+01	0.3763E+01	0.7121E+01	0.6840E+01	0.6840E+01
31	0.2500E+01	0.4380E+01	0.7708E+01	0.7250E+01	0.7250E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.1062E-02, \tilde{a}_{12} = 0.1003E+01, \tilde{b}_{11} = 0.3997E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.3843E-01, \tilde{a}_{22} = 0.1111E+00, \tilde{b}_{22} = 0.9392E+00. \end{aligned} \quad (11.2A)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E-06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.1063E-02, \tilde{a}_{12} = 0.1003E+01, \tilde{b}_{11} = 0.3997E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.3842E-01, \tilde{a}_{22} = 0.1111E+00, \tilde{b}_{22} = 0.9392E+00. (r = 30). \end{aligned} \quad (11.3A)$$

Вариант 12А

Таблица 12.1А – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.2000E+01	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
2	0.1047E+00	0.2011E+01	0.2043E+00	-0.1047E+00	-0.1047E+00
3	0.2094E+00	0.2042E+01	0.3999E+00	-0.2094E+00	-0.2094E+00
4	0.3142E+00	0.2094E+01	0.5889E+00	-0.3142E+00	-0.3142E+00
5	0.4189E+00	0.2166E+01	0.7735E+00	-0.4189E+00	-0.4189E+00
6	0.5236E+00	0.2256E+01	0.9555E+00	-0.5236E+00	-0.5236E+00
7	0.6283E+00	0.2366E+01	0.1137E+01	-0.6283E+00	-0.6283E+00
8	0.7330E+00	0.2494E+01	0.1320E+01	-0.7330E+00	-0.7330E+00
9	0.8378E+00	0.2642E+01	0.1507E+01	-0.8378E+00	-0.8378E+00
10	0.9425E+00	0.2810E+01	0.1699E+01	-0.9425E+00	-0.9425E+00
11	0.1047E+01	0.2998E+01	0.1898E+01	-0.1047E+01	-0.1047E+01
12	0.1152E+01	0.3208E+01	0.2108E+01	-0.1152E+01	-0.1152E+01
13	0.1257E+01	0.3440E+01	0.2330E+01	-0.1257E+01	-0.1257E+01
14	0.1361E+01	0.3697E+01	0.2566E+01	-0.1361E+01	-0.1361E+01
15	0.1466E+01	0.3978E+01	0.2820E+01	-0.1466E+01	-0.1466E+01
16	0.1571E+01	0.4288E+01	0.3093E+01	-0.1571E+01	-0.1571E+01
17	0.1676E+01	0.4627E+01	0.3390E+01	-0.1676E+01	-0.1676E+01
18	0.1780E+01	0.4999E+01	0.3713E+01	-0.1780E+01	-0.1780E+01
19	0.1885E+01	0.5406E+01	0.4065E+01	-0.1885E+01	-0.1885E+01
20	0.1990E+01	0.5851E+01	0.4451E+01	-0.1990E+01	-0.1990E+01
21	0.2094E+01	0.6339E+01	0.4876E+01	-0.2094E+01	-0.2094E+01
22	0.2199E+01	0.6874E+01	0.5342E+01	-0.2199E+01	-0.2199E+01
23	0.2304E+01	0.7460E+01	0.5856E+01	-0.2304E+01	-0.2304E+01
24	0.2409E+01	0.8102E+01	0.6424E+01	-0.2409E+01	-0.2409E+01
25	0.2513E+01	0.8807E+01	0.7051E+01	-0.2513E+01	-0.2513E+01
26	0.2618E+01	0.9582E+01	0.7745E+01	-0.2618E+01	-0.2618E+01
27	0.2723E+01	0.1043E+02	0.8512E+01	-0.2723E+01	-0.2723E+01
28	0.2827E+01	0.1137E+02	0.9362E+01	-0.2827E+01	-0.2827E+01
29	0.2932E+01	0.1240E+02	0.1030E+02	-0.2932E+01	-0.2932E+01
30	0.3037E+01	0.1353E+02	0.1135E+02	-0.3037E+01	-0.3037E+01
31	0.3142E+01	0.1478E+02	0.1251E+02	-0.3142E+01	-0.3142E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.5129E - 01, \tilde{a}_{12} = 0.1003E+01, \tilde{b}_{11} = 0.5336E - 01, \\ \tilde{a}_{21} &= 0.9699E+00, \tilde{a}_{22} = 0.9388E - 01, \tilde{b}_{22} = 0.1029E+01. \end{aligned} \quad (12.2A)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.5129E - 01, \tilde{a}_{12} = 0.1003E+01, \tilde{b}_{11} = 0.5336E - 01, \\ \tilde{a}_{21} &= 0.9699E+00, \tilde{a}_{22} = 0.9388E - 01, \tilde{b}_{22} = 0.1029E+01. (r = 30). \end{aligned} \quad (12.3A)$$

Вариант 13А

Таблица 13.1А – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.1333E+01	0.6667E+00	0.1000E+01	0.1000E+01
2	0.5236E-01	0.1366E+01	0.5763E+00	0.9490E+00	0.9490E+00
3	0.1047E+00	0.1394E+01	0.4802E+00	0.9006E+00	0.9006E+00
4	0.1571E+00	0.1416E+01	0.3790E+00	0.8546E+00	0.8546E+00
5	0.2094E+00	0.1433E+01	0.2733E+00	0.8110E+00	0.8110E+00
6	0.2618E+00	0.1445E+01	0.1640E+00	0.7697E+00	0.7697E+00
7	0.3142E+00	0.1450E+01	0.5160E-01	0.7304E+00	0.7304E+00
8	0.3665E+00	0.1450E+01	-0.6305E-01	0.6931E+00	0.6931E+00
9	0.4189E+00	0.1444E+01	-0.1793E+00	0.6578E+00	0.6578E+00
10	0.4712E+00	0.1431E+01	-0.2963E+00	0.6242E+00	0.6242E+00
11	0.5236E+00	0.1413E+01	-0.4134E+00	0.5924E+00	0.5924E+00
12	0.5760E+00	0.1388E+01	-0.5299E+00	0.5622E+00	0.5622E+00
13	0.6283E+00	0.1357E+01	-0.6450E+00	0.5335E+00	0.5335E+00
14	0.6807E+00	0.1320E+01	-0.7580E+00	0.5063E+00	0.5063E+00
15	0.7330E+00	0.1278E+01	-0.8683E+00	0.4804E+00	0.4804E+00
16	0.7854E+00	0.1230E+01	-0.9751E+00	0.4559E+00	0.4559E+00
17	0.8378E+00	0.1176E+01	-0.1078E+01	0.4327E+00	0.4327E+00
18	0.8901E+00	0.1117E+01	-0.1176E+01	0.4106E+00	0.4106E+00
19	0.9425E+00	0.1053E+01	-0.1269E+01	0.3897E+00	0.3897E+00
20	0.9948E+00	0.9840E+00	-0.1355E+01	0.3698E+00	0.3698E+00
21	0.1047E+01	0.9109E+00	-0.1436E+01	0.3509E+00	0.3509E+00
22	0.1100E+01	0.8338E+00	-0.1509E+01	0.3330E+00	0.3330E+00
23	0.1152E+01	0.7530E+00	-0.1575E+01	0.3160E+00	0.3160E+00
24	0.1204E+01	0.6690E+00	-0.1634E+01	0.2999E+00	0.2999E+00
25	0.1257E+01	0.5821E+00	-0.1684E+01	0.2846E+00	0.2846E+00
26	0.1309E+01	0.4928E+00	-0.1726E+01	0.2701E+00	0.2701E+00
27	0.1361E+01	0.4015E+00	-0.1759E+01	0.2563E+00	0.2563E+00
28	0.1414E+01	0.3087E+00	-0.1783E+01	0.2432E+00	0.2432E+00
29	0.1466E+01	0.2150E+00	-0.1798E+01	0.2308E+00	0.2308E+00
30	0.1518E+01	0.1206E+00	-0.1804E+01	0.2191E+00	0.2191E+00
31	0.1571E+01	0.2623E-01	-0.1800E+01	0.2079E+00	0.2079E+00

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -5234E-01, \tilde{a}_{12} = 0.9991E+00, \tilde{b}_{11} = 0.2572E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1998E+01, \tilde{a}_{22} = -0.5234E-01, \tilde{b}_{22} = 0.9734E+00. \end{aligned} \quad (13.2A)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E-06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.5234E-01, \tilde{a}_{12} = 0.9991E+00, \tilde{b}_{11} = 0.2572E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1998E+01, \tilde{a}_{22} = -0.5234E-01, \tilde{b}_{22} = 0.9734E+00. (r = 30). \end{aligned} \quad (13.3A)$$

Вариант 14А

Таблица 14.1А – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.1800E+01	0.2352E+01	0.0000E+00	0.0000E+00
2	0.1047E+00	0.2050E+01	0.2418E+01	0.1047E+00	0.1047E+00
3	0.2094E+00	0.2306E+01	0.2469E+01	0.2094E+00	0.2094E+00
4	0.3142E+00	0.2566E+01	0.2504E+01	0.3142E+00	0.3142E+00
5	0.4189E+00	0.2830E+01	0.2518E+01	0.4189E+00	0.4189E+00
6	0.5236E+00	0.3093E+01	0.2509E+01	0.5236E+00	0.5236E+00
7	0.6283E+00	0.3354E+01	0.2473E+01	0.6283E+00	0.6283E+00
8	0.7330E+00	0.3610E+01	0.2409E+01	0.7330E+00	0.7330E+00
9	0.8378E+00	0.3857E+01	0.2311E+01	0.8378E+00	0.8378E+00
10	0.9425E+00	0.4093E+01	0.2178E+01	0.9425E+00	0.9425E+00
11	0.1047E+01	0.4312E+01	0.2007E+01	0.1047E+01	0.1047E+01
12	0.1152E+01	0.4512E+01	0.1793E+01	0.1152E+01	0.1152E+01
13	0.1257E+01	0.4686E+01	0.1535E+01	0.1257E+01	0.1257E+01
14	0.1361E+01	0.4832E+01	0.1231E+01	0.1361E+01	0.1361E+01
15	0.1466E+01	0.4942E+01	0.8771E+00	0.1466E+01	0.1466E+01
16	0.1571E+01	0.5014E+01	0.4730E+00	0.1571E+01	0.1571E+01
17	0.1676E+01	0.5040E+01	0.1709E-01	0.1676E+01	0.1676E+01
18	0.1780E+01	0.5015E+01	-0.4911E+00	0.1780E+01	0.1780E+01
19	0.1885E+01	0.4935E+01	-0.1051E+01	0.1885E+01	0.1885E+01
20	0.1990E+01	0.4793E+01	-0.1663E+01	0.1990E+01	0.1990E+01
21	0.2094E+01	0.4585E+01	-0.2324E+01	0.2094E+01	0.2094E+01
22	0.2199E+01	0.4305E+01	-0.3032E+01	0.2199E+01	0.2199E+01
23	0.2304E+01	0.3948E+01	-0.3783E+01	0.2304E+01	0.2304E+01
24	0.2409E+01	0.3511E+01	-0.4572E+01	0.2409E+01	0.2409E+01
25	0.2513E+01	0.2990E+01	-0.5392E+01	0.2513E+01	0.2513E+01
26	0.2618E+01	0.2381E+01	-0.6237E+01	0.2618E+01	0.2618E+01
27	0.2723E+01	0.1683E+01	-0.7097E+01	0.2723E+01	0.2723E+01
28	0.2827E+01	0.8944E+00	-0.7962E+01	0.2827E+01	0.2827E+01
29	0.2932E+01	0.1558E-01	-0.8819E+01	0.2932E+01	0.2932E+01
30	0.3037E+01	-0.9520E+00	-0.9656E+01	0.3037E+01	0.3037E+01
31	0.3142E+01	-0.2005E+01	-0.1046E+02	0.3142E+01	0.3142E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.6890E-01, \tilde{a}_{12} = 0.1067E+01, \tilde{b}_{11} = 0.5763E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1349E+01, \tilde{a}_{22} = 0.1286E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1152E+01. \end{aligned} \quad (14.2A)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E-06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.6890E-01, \tilde{a}_{12} = 0.1067E+01, \tilde{b}_{11} = 0.5763E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1349E+01, \tilde{a}_{22} = 0.1286E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1152E+01. (r = 30). \end{aligned} \quad (14.3A)$$

Вариант 15А

Таблица 15.1А – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.1000E+01	0.2486E+01	0.0000E+00	0.0000E+00
2	0.5236E-01	0.1123E+01	0.2209E+01	0.5234E-01	0.5234E-01
3	0.1047E+00	0.1231E+01	0.1905E+01	0.1045E+00	0.1045E+00
4	0.1571E+00	0.1322E+01	0.1577E+01	0.1564E+00	0.1564E+00
5	0.2094E+00	0.1396E+01	0.1231E+01	0.2079E+00	0.2079E+00
6	0.2618E+00	0.1451E+01	0.8697E+00	0.2588E+00	0.2588E+00
7	0.3142E+00	0.1487E+01	0.4997E+00	0.3090E+00	0.3090E+00
8	0.3665E+00	0.1503E+01	0.1254E+00	0.3584E+00	0.3584E+00
9	0.4189E+00	0.1500E+01	-0.2481E+00	0.4067E+00	0.4067E+00
10	0.4712E+00	0.1477E+01	-0.6156E+00	0.4540E+00	0.4540E+00
11	0.5236E+00	0.1435E+01	-0.9723E+00	0.5000E+00	0.5000E+00
12	0.5760E+00	0.1376E+01	-0.1313E+01	0.5446E+00	0.5446E+00
13	0.6283E+00	0.1298E+01	-0.1634E+01	0.5878E+00	0.5878E+00
14	0.6807E+00	0.1205E+01	-0.1930E+01	0.6293E+00	0.6293E+00
15	0.7330E+00	0.1097E+01	-0.2198E+01	0.6691E+00	0.6691E+00
16	0.7854E+00	0.9753E+00	-0.2433E+01	0.7071E+00	0.7071E+00
17	0.8378E+00	0.8425E+00	-0.2633E+01	0.7431E+00	0.7431E+00
18	0.8901E+00	0.7002E+00	-0.2796E+01	0.7771E+00	0.7771E+00
19	0.9425E+00	0.5504E+00	-0.2918E+01	0.8090E+00	0.8090E+00
20	0.9948E+00	0.3953E+00	-0.2999E+01	0.8387E+00	0.8387E+00
21	0.1047E+01	0.2371E+00	-0.3037E+01	0.8660E+00	0.8660E+00
22	0.1100E+01	0.7806E-01	-0.3032E+01	0.8910E+00	0.8910E+00
23	0.1152E+01	-0.7964E-01	-0.2985E+01	0.9135E+00	0.9135E+00
24	0.1204E+01	-0.2338E+00	-0.2895E+01	0.9336E+00	0.9336E+00
25	0.1257E+01	-0.3821E+00	-0.2765E+01	0.9511E+00	0.9511E+00
26	0.1309E+01	-0.5226E+00	-0.2596E+01	0.9659E+00	0.9659E+00
27	0.1361E+01	-0.6534E+00	-0.2391E+01	0.9781E+00	0.9781E+00
28	0.1414E+01	-0.7725E+00	-0.2153E+01	0.9877E+00	0.9877E+00
29	0.1466E+01	-0.8783E+00	-0.1884E+01	0.9945E+00	0.9945E+00
30	0.1518E+01	-0.9693E+00	-0.1590E+01	0.9986E+00	0.9986E+00
31	0.1571E+01	-0.1044E+01	-0.1274E+01	0.1000E+01	0.1000E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.1305E+00, \tilde{a}_{12} = 0.9978E+00, \tilde{b}_{11} = 0.2654E - 01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.4977E+01, \tilde{a}_{22} = -0.1269E+00, \tilde{b}_{22} = 0.1020E+01. \end{aligned} \quad (15.2A)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.1305E+00, \tilde{a}_{12} = 0.9978E+00, \tilde{b}_{11} = 0.2654E - 01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.4977E+01, \tilde{a}_{22} = -0.1269E+00, \tilde{b}_{22} = 0.1020E+01. (r = 30). \end{aligned} \quad (15.3A)$$

Вариант 16А

Таблица 16.1А – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.1047E+01	0.1149E+01	-0.3468E+01	-0.6196E+01	-0.6196E+01
2	0.1100E+01	0.9659E+00	-0.3533E+01	-0.6030E+01	-0.6030E+01
3	0.1152E+01	0.7800E+00	-0.3562E+01	-0.5797E+01	-0.5797E+01
4	0.1204E+01	0.5934E+00	-0.3557E+01	-0.5501E+01	-0.5501E+01
5	0.1257E+01	0.4081E+00	-0.3518E+01	-0.5145E+01	-0.5145E+01
6	0.1309E+01	0.2257E+00	-0.3445E+01	-0.4732E+01	-0.4732E+01
7	0.1361E+01	0.4791E-01	-0.3339E+01	-0.4268E+01	-0.4268E+01
8	0.1414E+01	-0.1235E+00	-0.3203E+01	-0.3756E+01	-0.3756E+01
9	0.1466E+01	-0.2870E+00	-0.3037E+01	-0.3204E+01	-0.3204E+01
10	0.1518E+01	-0.4410E+00	-0.2843E+01	-0.2616E+01	-0.2616E+01
11	0.1571E+01	-0.5842E+00	-0.2624E+01	-0.2000E+01	-0.2000E+01
12	0.1623E+01	-0.7154E+00	-0.2381E+01	-0.1362E+01	-0.1362E+01
13	0.1676E+01	-0.8333E+00	-0.2119E+01	-0.7088E+00	-0.7088E+00
14	0.1728E+01	-0.9369E+00	-0.1838E+01	-0.4801E-01	-0.4801E-01
15	0.1780E+01	-0.1026E+01	-0.1543E+01	0.6133E+00	0.6133E+00
16	0.1833E+01	-0.1098E+01	-0.1237E+01	0.1268E+01	0.1268E+01
17	0.1885E+01	-0.1155E+01	-0.9226E+00	0.1909E+01	0.1909E+01
18	0.1937E+01	-0.1195E+01	-0.6032E+00	0.2528E+01	0.2528E+01
19	0.1990E+01	-0.1218E+01	-0.2823E+00	0.3121E+01	0.3121E+01
20	0.2042E+01	-0.1224E+01	0.3669E-01	0.3679E+01	0.3679E+01
21	0.2094E+01	-0.1214E+01	0.3505E+00	0.4196E+01	0.4196E+01
22	0.2147E+01	-0.1188E+01	0.6559E+00	0.4668E+01	0.4668E+01
23	0.2199E+01	-0.1146E+01	0.9497E+00	0.5088E+01	0.5088E+01
24	0.2251E+01	-0.1089E+01	0.1229E+01	0.5453E+01	0.5453E+01
25	0.2304E+01	-0.1017E+01	0.1490E+01	0.5758E+01	0.5758E+01
26	0.2356E+01	-0.9330E+00	0.1732E+01	0.6000E+01	0.6000E+01
27	0.2409E+01	-0.8365E+00	0.1951E+01	0.6176E+01	0.6176E+01
28	0.2461E+01	-0.7291E+00	0.2145E+01	0.6285E+01	0.6285E+01
29	0.2513E+01	-0.6123E+00	0.2312E+01	0.6324E+01	0.6324E+01
30	0.2566E+01	-0.4875E+00	0.2450E+01	0.6295E+01	0.6295E+01
31	0.2618E+01	-0.3563E+00	0.2559E+01	0.6196E+01	0.6196E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.5277E-01, \tilde{a}_{12} = 0.9466E+00, \tilde{b}_{11} = 0.2577E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.2023E+01, \tilde{a}_{22} = -0.2058E+01, \tilde{b}_{22} = 0.9760E+00. \end{aligned} \quad (16.2A)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E-06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.5277E-01, \tilde{a}_{12} = 0.9466E+00, \tilde{b}_{11} = 0.2577E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.2023E+01, \tilde{a}_{22} = -0.2058E+01, \tilde{b}_{22} = 0.9760E+00. (r = 30). \end{aligned} \quad (16.3A)$$

Вариант 17А

Таблица 17.1А – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.6900E+02	-0.8800E+02	0.7000E+01	0.7000E+01
2	0.5000E-01	0.6731E+02	-0.8586E+02	0.6753E+01	0.6753E+01
3	0.1000E+00	0.6564E+02	-0.8375E+02	0.6510E+01	0.6510E+01
4	0.1500E+00	0.6399E+02	-0.8166E+02	0.6272E+01	0.6272E+01
5	0.2000E+00	0.6236E+02	-0.7960E+02	0.6040E+01	0.6040E+01
6	0.2500E+00	0.6075E+02	-0.7756E+02	0.5812E+01	0.5812E+01
7	0.3000E+00	0.5916E+02	-0.7555E+02	0.5590E+01	0.5590E+01
8	0.3500E+00	0.5759E+02	-0.7356E+02	0.5372E+01	0.5372E+01
9	0.4000E+00	0.5604E+02	-0.7160E+02	0.5160E+01	0.5160E+01
10	0.4500E+00	0.5451E+02	-0.6966E+02	0.4952E+01	0.4952E+01
11	0.5000E+00	0.5300E+02	-0.6775E+02	0.4750E+01	0.4750E+01
12	0.5500E+00	0.5151E+02	-0.6586E+02	0.4553E+01	0.4553E+01
13	0.6000E+00	0.5004E+02	-0.6400E+02	0.4360E+01	0.4360E+01
14	0.6500E+00	0.4859E+02	-0.6216E+02	0.4173E+01	0.4173E+01
15	0.7000E+00	0.4716E+02	-0.6035E+02	0.3990E+01	0.3990E+01
16	0.7500E+00	0.4575E+02	-0.5856E+02	0.3812E+01	0.3812E+01
17	0.8000E+00	0.4436E+02	-0.5680E+02	0.3640E+01	0.3640E+01
18	0.8500E+00	0.4299E+02	-0.5506E+02	0.3473E+01	0.3473E+01
19	0.9000E+00	0.4164E+02	-0.5335E+02	0.3310E+01	0.3310E+01
20	0.9500E+00	0.4031E+02	-0.5166E+02	0.3152E+01	0.3152E+01
21	0.1000E+01	0.3900E+02	-0.5000E+02	0.3000E+01	0.3000E+01
22	0.1050E+01	0.3771E+02	-0.4836E+02	0.2853E+01	0.2853E+01
23	0.1100E+01	0.3644E+02	-0.4675E+02	0.2710E+01	0.2710E+01
24	0.1150E+01	0.3519E+02	-0.4516E+02	0.2572E+01	0.2572E+01
25	0.1200E+01	0.3396E+02	-0.4360E+02	0.2440E+01	0.2440E+01
26	0.1250E+01	0.3275E+02	-0.4206E+02	0.2312E+01	0.2312E+01
27	0.1300E+01	0.3156E+02	-0.4055E+02	0.2190E+01	0.2190E+01
28	0.1350E+01	0.3039E+02	-0.3906E+02	0.2073E+01	0.2073E+01
29	0.1400E+01	0.2924E+02	-0.3760E+02	0.1960E+01	0.1960E+01
30	0.1450E+01	0.2811E+02	-0.3616E+02	0.1852E+01	0.1852E+01
31	0.1500E+01	0.2700E+02	-0.3475E+02	0.1750E+01	0.1750E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.4589E+02, \tilde{a}_{12} = 0.3614E+02, \tilde{b}_{11} = -0.2825E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.6006E+02, \tilde{a}_{22} = -0.4727E+02, \tilde{b}_{22} = 0.3886E+01. \end{aligned} \quad (17.2A)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.4589E+02, \tilde{a}_{12} = 0.3614E+02, \tilde{b}_{11} = -0.2825E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.6006E+02, \tilde{a}_{22} = -0.4727E+02, \tilde{b}_{22} = 0.3886E+01. \quad (r = 30). \end{aligned} \quad (17.3A)$$

3) Метод стохастической аппроксимации ($\alpha = 1.0$).

Вариант 18А

Таблица 18.1А – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.7854E+00	0.3148E+01	0.1123E+01	0.2828E+01	0.2828E+01
2	0.8378E+00	0.2978E+01	0.1002E+01	0.2677E+01	0.2677E+01
3	0.8901E+00	0.2808E+01	0.8842E+00	0.2517E+01	0.2517E+01
4	0.9425E+00	0.2637E+01	0.7699E+00	0.2351E+01	0.2351E+01
5	0.9948E+00	0.2467E+01	0.6587E+00	0.2179E+01	0.2179E+01
6	0.1047E+01	0.2297E+01	0.5502E+00	0.2000E+01	0.2000E+01
7	0.1100E+01	0.2128E+01	0.4445E+00	0.1816E+01	0.1816E+01
8	0.1152E+01	0.1959E+01	0.3413E+00	0.1627E+01	0.1627E+01
9	0.1204E+01	0.1790E+01	0.2404E+00	0.1433E+01	0.1433E+01
10	0.1257E+01	0.1622E+01	0.1416E+00	0.1236E+01	0.1236E+01
11	0.1309E+01	0.1454E+01	0.4488E-01	0.1035E+01	0.1035E+01
12	0.1361E+01	0.1288E+01	-0.4993E-01	0.8316E+00	0.8316E+00
13	0.1414E+01	0.1121E+01	-0.1430E+00	0.6257E+00	0.6257E+00
14	0.1466E+01	0.9559E+00	-0.2343E+00	0.4181E+00	0.4181E+00
15	0.1518E+01	0.7913E+00	-0.3239E+00	0.2093E+00	0.2093E+00
16	0.1571E+01	0.6275E+00	-0.4120E+00	0.1072E-06	0.1072E-06
17	0.1623E+01	0.4647E+00	-0.4985E+00	-0.2093E+00	-0.2093E+00
18	0.1676E+01	0.3030E+00	-0.5834E+00	-0.4181E+00	-0.4181E+00
19	0.1728E+01	0.1425E+00	-0.6668E+00	-0.6257E+00	-0.6257E+00
20	0.1780E+01	-0.1673E-01	-0.7486E+00	-0.8316E+00	-0.8316E+00
21	0.1833E+01	-0.1745E+00	-0.8288E+00	-0.1035E+01	-0.1035E+01
22	0.1885E+01	-0.3306E+00	-0.9073E+00	-0.1236E+01	-0.1236E+01
23	0.1937E+01	-0.4850E+00	-0.9840E+00	-0.1433E+01	-0.1433E+01
24	0.1990E+01	-0.6374E+00	-0.1059E+01	-0.1627E+01	-0.1627E+01
25	0.2042E+01	-0.7877E+00	-0.1132E+01	-0.1816E+01	-0.1816E+01
26	0.2094E+01	-0.9356E+00	-0.1202E+01	-0.2000E+01	-0.2000E+01
27	0.2147E+01	-0.1081E+01	-0.1271E+01	-0.2179E+01	-0.2179E+01
28	0.2199E+01	-0.1223E+01	-0.1337E+01	-0.2351E+01	-0.2351E+01
29	0.2251E+01	-0.1363E+01	-0.1401E+01	-0.2517E+01	-0.2517E+01
30	0.2304E+01	-0.1499E+01	-0.1462E+01	-0.2677E+01	-0.2677E+01
31	0.2356E+01	-0.1631E+01	-0.1520E+01	-0.2828E+01	-0.2828E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.2976E+01, \tilde{a}_{12} = 0.3010E+01, \tilde{b}_{11} = 0.9695E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1953E+01, \tilde{a}_{22} = 0.1031E+01, \tilde{b}_{22} = 0.9482E+00. \end{aligned} \quad (18.2A)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.2976E+01, \tilde{a}_{12} = 0.3010E+01, \tilde{b}_{11} = 0.9695E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1953E+01, \tilde{a}_{22} = 0.1031E+01, \tilde{b}_{22} = 0.9482E+00, (r = 30). \end{aligned} \quad (18.3A)$$

Вариант 19А

Таблица 19.1А – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.1250E+01	0.2250E+01	0.0000E+00	0.0000E+00
2	0.3491E-01	0.1325E+01	0.2071E+01	0.6045E-01	0.6045E-01
3	0.6981E-01	0.1395E+01	0.1884E+01	0.1037E+00	0.1037E+00
4	0.1047E+00	0.1457E+01	0.1689E+01	0.1318E+00	0.1318E+00
5	0.1396E+00	0.1512E+01	0.1487E+01	0.1468E+00	0.1468E+00
6	0.1745E+00	0.1561E+01	0.1277E+01	0.1504E+00	0.1504E+00
7	0.2094E+00	0.1601E+01	0.1062E+01	0.1443E+00	0.1443E+00
8	0.2443E+00	0.1635E+01	0.8404E+00	0.1301E+00	0.1301E+00
9	0.2793E+00	0.1660E+01	0.6145E+00	0.1091E+00	0.1091E+00
10	0.3142E+00	0.1678E+01	0.3848E+00	0.8262E-01	0.8262E-01
11	0.3491E+00	0.1687E+01	0.1522E+00	0.5187E-01	0.5187E-01
12	0.3840E+00	0.1688E+01	-0.8232E-01	0.1794E-01	0.1794E-01
13	0.4189E+00	0.1681E+01	-0.3176E+00	-0.1818E-01	-0.1818E-01
14	0.4538E+00	0.1666E+01	-0.5527E+00	-0.5560E-01	-0.5560E-01
15	0.4887E+00	0.1643E+01	-0.7864E+00	-0.9347E-01	-0.9347E-01
16	0.5236E+00	0.1611E+01	-0.1018E+01	-0.1311E+00	-0.1311E+00
17	0.5585E+00	0.1572E+01	-0.1245E+01	-0.1677E+00	-0.1677E+00
18	0.5934E+00	0.1524E+01	-0.1468E+01	-0.2028E+00	-0.2028E+00
19	0.6283E+00	0.1469E+01	-0.1684E+01	-0.2358E+00	-0.2358E+00
20	0.6632E+00	0.1407E+01	-0.1894E+01	-0.2662E+00	-0.2662E+00
21	0.6981E+00	0.1337E+01	-0.2095E+01	-0.2936E+00	-0.2936E+00
22	0.7330E+00	0.1261E+01	-0.2288E+01	-0.3177E+00	-0.3177E+00
23	0.7679E+00	0.1177E+01	-0.2469E+01	-0.3381E+00	-0.3381E+00
24	0.8029E+00	0.1088E+01	-0.2640E+01	-0.3547E+00	-0.3547E+00
25	0.8378E+00	0.9933E+00	-0.2798E+01	-0.3672E+00	-0.3672E+00
26	0.8727E+00	0.8931E+00	-0.2942E+01	-0.3754E+00	-0.3754E+00
27	0.9076E+00	0.7881E+00	-0.3073E+01	-0.3792E+00	-0.3792E+00
28	0.9425E+00	0.6787E+00	-0.3189E+01	-0.3786E+00	-0.3786E+00
29	0.9774E+00	0.5656E+00	-0.3289E+01	-0.3736E+00	-0.3736E+00
30	0.1012E+01	0.4493E+00	-0.3373E+01	-0.3641E+00	-0.3641E+00
31	0.1047E+01	0.3304E+00	-0.3439E+01	-0.3502E+00	-0.3502E+00

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.6978E-01, \tilde{a}_{12} = 0.9991E+00, \tilde{b}_{11} = 0.1901E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.4004E+01, \tilde{a}_{22} = -0.5440E-01, \tilde{b}_{22} = 0.8765E+00. \end{aligned} \quad (19.2A)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E-06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.6978E-01, \tilde{a}_{12} = 0.9991E+00, \tilde{b}_{11} = 0.1901E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.4004E+01, \tilde{a}_{22} = -0.5440E-01, \tilde{b}_{22} = 0.8765E+00, (r = 30). \end{aligned} \quad (19.3A)$$

Вариант 20А

Таблица 20.1А – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.1111E+01	0.3000E+01	-0.3000E+01	-0.3000E+01
2	0.2618E-01	0.1185E+01	0.2653E+01	-0.2846E+01	-0.2846E+01
3	0.5236E-01	0.1250E+01	0.2293E+01	-0.2695E+01	-0.2695E+01
4	0.7854E-01	0.1305E+01	0.1923E+01	-0.2545E+01	-0.2545E+01
5	0.1047E+00	0.1351E+01	0.1546E+01	-0.2394E+01	-0.2394E+01
6	0.1309E+00	0.1386E+01	0.1162E+01	-0.2241E+01	-0.2241E+01
7	0.1571E+00	0.1411E+01	0.7761E+00	-0.2085E+01	-0.2085E+01
8	0.1833E+00	0.1427E+01	0.3890E+00	-0.1923E+01	-0.1923E+01
9	0.2094E+00	0.1432E+01	0.3909E-02	-0.1757E+01	-0.1757E+01
10	0.2356E+00	0.1427E+01	-0.3768E+00	-0.1584E+01	-0.1584E+01
11	0.2618E+00	0.1412E+01	-0.7506E+00	-0.1405E+01	-0.1405E+01
12	0.2880E+00	0.1388E+01	-0.1115E+01	-0.1220E+01	-0.1220E+01
13	0.3142E+00	0.1354E+01	-0.1468E+01	-0.1029E+01	-0.1029E+01
14	0.3403E+00	0.1311E+01	-0.1806E+01	-0.8319E+00	-0.8319E+00
15	0.3665E+00	0.1259E+01	-0.2128E+01	-0.6296E+00	-0.6296E+00
16	0.3927E+00	0.1200E+01	-0.2432E+01	-0.4227E+00	-0.4227E+00
17	0.4189E+00	0.1132E+01	-0.2715E+01	-0.2117E+00	-0.2117E+00
18	0.4451E+00	0.1058E+01	-0.2976E+01	0.2265E-02	0.2265E-02
19	0.4712E+00	0.9766E+00	-0.3213E+01	0.2184E+00	0.2184E+00
20	0.4974E+00	0.8897E+00	-0.3424E+01	0.4357E+00	0.4357E+00
21	0.5236E+00	0.7976E+00	-0.3609E+01	0.6531E+00	0.6531E+00
22	0.5498E+00	0.7010E+00	-0.3766E+01	0.8693E+00	0.8693E+00
23	0.5760E+00	0.6007E+00	-0.3893E+01	0.1083E+01	0.1083E+01
24	0.6021E+00	0.4974E+00	-0.3992E+01	0.1294E+01	0.1294E+01
25	0.6283E+00	0.3919E+00	-0.4060E+01	0.1499E+01	0.1499E+01
26	0.6545E+00	0.2851E+00	-0.4098E+01	0.1699E+01	0.1699E+01
27	0.6807E+00	0.1776E+00	-0.4105E+01	0.1892E+01	0.1892E+01
28	0.7069E+00	0.7039E-01	-0.4083E+01	0.2076E+01	0.2076E+01
29	0.7330E+00	-0.3587E-01	-0.4030E+01	0.2251E+01	0.2251E+01
30	0.7592E+00	-0.1404E+00	-0.3948E+01	0.2415E+01	0.2415E+01
31	0.7854E+00	-0.2423E+00	-0.3838E+01	0.2568E+01	0.2568E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.1130E+00, \tilde{a}_{12} = 0.1000E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1613E - 01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.8859E+01, \tilde{a}_{22} = -0.1080E+00, \tilde{b}_{22} = 0.1049E+01. \end{aligned} \quad (20.2A)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.1130E+00, \tilde{a}_{12} = 0.1000E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1613E - 01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.8859E+01, \tilde{a}_{22} = -0.1080E+00, \tilde{b}_{22} = 0.1049E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (20.3A)$$

Вариант 21А

Таблица 21.1А – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.3000E+01	0.0000E+00	0.5000E+01	0.5000E+01
2	0.2618E-01	0.3002E+01	0.1201E+00	0.4296E+01	0.4296E+01
3	0.5236E-01	0.3006E+01	0.2189E+00	0.3600E+01	0.3600E+01
4	0.7854E-01	0.3013E+01	0.2974E+00	0.2913E+01	0.2913E+01
5	0.1047E+00	0.3021E+01	0.3561E+00	0.2235E+01	0.2235E+01
6	0.1309E+00	0.3031E+01	0.3960E+00	0.1569E+01	0.1569E+01
7	0.1571E+00	0.3042E+01	0.4178E+00	0.9145E+00	0.9145E+00
8	0.1833E+00	0.3053E+01	0.4223E+00	0.2739E+00	0.2739E+00
9	0.2094E+00	0.3064E+01	0.4103E+00	-0.3519E+00	-0.3519E+00
10	0.2356E+00	0.3074E+01	0.3826E+00	-0.9618E+00	-0.9618E+00
11	0.2618E+00	0.3084E+01	0.3402E+00	-0.1555E+01	-0.1555E+01
12	0.2880E+00	0.3092E+01	0.2837E+00	-0.2129E+01	-0.2129E+01
13	0.3142E+00	0.3099E+01	0.2141E+00	-0.2685E+01	-0.2685E+01
14	0.3403E+00	0.3103E+01	0.1322E+00	-0.3220E+01	-0.3220E+01
15	0.3665E+00	0.3106E+01	0.3888E-01	-0.3734E+01	-0.3734E+01
16	0.3927E+00	0.3105E+01	-0.6503E-01	-0.4225E+01	-0.4225E+01
17	0.4189E+00	0.3102E+01	-0.1787E+00	-0.4694E+01	-0.4694E+01
18	0.4451E+00	0.3096E+01	-0.3011E+00	-0.5138E+01	-0.5138E+01
19	0.4712E+00	0.3086E+01	-0.4316E+00	-0.5557E+01	-0.5557E+01
20	0.4974E+00	0.3073E+01	-0.5692E+00	-0.5951E+01	-0.5951E+01
21	0.5236E+00	0.3056E+01	-0.7131E+00	-0.6319E+01	-0.6319E+01
22	0.5498E+00	0.3036E+01	-0.8625E+00	-0.6659E+01	-0.6659E+01
23	0.5760E+00	0.3011E+01	-0.1016E+01	-0.6972E+01	-0.6972E+01
24	0.6021E+00	0.2982E+01	-0.1174E+01	-0.7257E+01	-0.7257E+01
25	0.6283E+00	0.2950E+01	-0.1335E+01	-0.7514E+01	-0.7514E+01
26	0.6545E+00	0.2913E+01	-0.1497E+01	-0.7741E+01	-0.7741E+01
27	0.6807E+00	0.2871E+01	-0.1661E+01	-0.7939E+01	-0.7939E+01
28	0.7069E+00	0.2826E+01	-0.1826E+01	-0.8108E+01	-0.8108E+01
29	0.7330E+00	0.2776E+01	-0.1990E+01	-0.8247E+01	-0.8247E+01
30	0.7592E+00	0.2721E+01	-0.2153E+01	-0.8357E+01	-0.8357E+01
31	0.7854E+00	0.2663E+01	-0.2315E+01	-0.8436E+01	-0.8436E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.8890E-03, \tilde{a}_{12} = 0.9871E+00, \tilde{b}_{11} = 0.1271E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.9436E-01, \tilde{a}_{22} = -0.1032E+01, \tilde{b}_{22} = 0.9736E+00. \end{aligned} \quad (21.2A)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E-06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.8890E-03, \tilde{a}_{12} = 0.9871E+00, \tilde{b}_{11} = 0.1271E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.9436E-01, \tilde{a}_{22} = -0.1032E+01, \tilde{b}_{22} = 0.9736E+00. (r = 30). \end{aligned} \quad (21.3A)$$

Вариант 22А

Таблица 22.1А – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.1000E+01	-0.1000E+01	0.2000E+01	0.2000E+01
2	0.2000E-01	0.9804E+00	-0.9616E+00	0.1922E+01	0.1922E+01
3	0.4000E-01	0.9615E+00	-0.9261E+00	0.1846E+01	0.1846E+01
4	0.6000E-01	0.9433E+00	-0.8933E+00	0.1774E+01	0.1774E+01
5	0.8000E-01	0.9258E+00	-0.8631E+00	0.1704E+01	0.1704E+01
6	0.1000E+00	0.9088E+00	-0.8351E+00	0.1637E+01	0.1637E+01
7	0.1200E+00	0.8924E+00	-0.8093E+00	0.1573E+01	0.1573E+01
8	0.1400E+00	0.8764E+00	-0.7854E+00	0.1512E+01	0.1512E+01
9	0.1600E+00	0.8609E+00	-0.7633E+00	0.1452E+01	0.1452E+01
10	0.1800E+00	0.8459E+00	-0.7429E+00	0.1395E+01	0.1395E+01
11	0.2000E+00	0.8312E+00	-0.7239E+00	0.1341E+01	0.1341E+01
12	0.2200E+00	0.8169E+00	-0.7064E+00	0.1288E+01	0.1288E+01
13	0.2400E+00	0.8029E+00	-0.6901E+00	0.1238E+01	0.1238E+01
14	0.2600E+00	0.7893E+00	-0.6749E+00	0.1189E+01	0.1189E+01
15	0.2800E+00	0.7759E+00	-0.6608E+00	0.1142E+01	0.1142E+01
16	0.3000E+00	0.7628E+00	-0.6476E+00	0.1098E+01	0.1098E+01
17	0.3200E+00	0.7500E+00	-0.6353E+00	0.1055E+01	0.1055E+01
18	0.3400E+00	0.7374E+00	-0.6237E+00	0.1013E+01	0.1013E+01
19	0.3600E+00	0.7251E+00	-0.6129E+00	0.9735E+00	0.9735E+00
20	0.3800E+00	0.7129E+00	-0.6027E+00	0.9353E+00	0.9353E+00
21	0.4000E+00	0.7010E+00	-0.5931E+00	0.8987E+00	0.8987E+00
22	0.4200E+00	0.6892E+00	-0.5840E+00	0.8634E+00	0.8634E+00
23	0.4400E+00	0.6776E+00	-0.5754E+00	0.8296E+00	0.8296E+00
24	0.4600E+00	0.6662E+00	-0.5672E+00	0.7970E+00	0.7970E+00
25	0.4800E+00	0.6549E+00	-0.5593E+00	0.7658E+00	0.7658E+00
26	0.5000E+00	0.6438E+00	-0.5518E+00	0.7358E+00	0.7358E+00
27	0.5200E+00	0.6328E+00	-0.5446E+00	0.7069E+00	0.7069E+00
28	0.5400E+00	0.6220E+00	-0.5376E+00	0.6792E+00	0.6792E+00
29	0.5600E+00	0.6113E+00	-0.5309E+00	0.6526E+00	0.6526E+00
30	0.5800E+00	0.6008E+00	-0.5244E+00	0.6270E+00	0.6270E+00
31	0.6000E+00	0.5903E+00	-0.5181E+00	0.6024E+00	0.6024E+00

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.3600E-01, \tilde{a}_{12} = 0.9665E+00, \tilde{b}_{11} = 0.1092E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.3834E+01, \tilde{a}_{22} = -0.3868E+01, \tilde{b}_{22} = 0.9439E+00. \end{aligned} \quad (22.2A)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E-06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.3620E-01, \tilde{a}_{12} = 0.9662E+00, \tilde{b}_{11} = 0.1089E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.3834E+01, \tilde{a}_{22} = -0.3868E+01, \tilde{b}_{22} = 0.9439E+00, (r = 30). \end{aligned} \quad (22.3A)$$

Вариант 23А

Таблица 23.1А – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.1000E+01	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
2	0.2000E-01	0.9998E+00	-0.1941E-01	0.1960E-01	0.1960E-01
3	0.4000E-01	0.9992E+00	-0.3767E-01	0.3843E-01	0.3843E-01
4	0.6000E-01	0.9983E+00	-0.5484E-01	0.5651E-01	0.5651E-01
5	0.8000E-01	0.9970E+00	-0.7097E-01	0.7385E-01	0.7385E-01
6	0.1000E+00	0.9955E+00	-0.8611E-01	0.9048E-01	0.9048E-01
7	0.1200E+00	0.9936E+00	-0.1003E+00	0.1064E+00	0.1064E+00
8	0.1400E+00	0.9915E+00	-0.1136E+00	0.1217E+00	0.1217E+00
9	0.1600E+00	0.9891E+00	-0.1260E+00	0.1363E+00	0.1363E+00
10	0.1800E+00	0.9864E+00	-0.1376E+00	0.1503E+00	0.1503E+00
11	0.2000E+00	0.9836E+00	-0.1485E+00	0.1637E+00	0.1637E+00
12	0.2200E+00	0.9805E+00	-0.1586E+00	0.1766E+00	0.1766E+00
13	0.2400E+00	0.9772E+00	-0.1679E+00	0.1888E+00	0.1888E+00
14	0.2600E+00	0.9738E+00	-0.1767E+00	0.2005E+00	0.2005E+00
15	0.2800E+00	0.9702E+00	-0.1848E+00	0.2116E+00	0.2116E+00
16	0.3000E+00	0.9664E+00	-0.1922E+00	0.2222E+00	0.2222E+00
17	0.3200E+00	0.9625E+00	-0.1992E+00	0.2324E+00	0.2324E+00
18	0.3400E+00	0.9584E+00	-0.2055E+00	0.2420E+00	0.2420E+00
19	0.3600E+00	0.9543E+00	-0.2114E+00	0.2512E+00	0.2512E+00
20	0.3800E+00	0.9500E+00	-0.2167E+00	0.2599E+00	0.2599E+00
21	0.4000E+00	0.9456E+00	-0.2217E+00	0.2681E+00	0.2681E+00
22	0.4200E+00	0.9411E+00	-0.2261E+00	0.2760E+00	0.2760E+00
23	0.4400E+00	0.9366E+00	-0.2302E+00	0.2834E+00	0.2834E+00
24	0.4600E+00	0.9319E+00	-0.2338E+00	0.2904E+00	0.2904E+00
25	0.4800E+00	0.9272E+00	-0.2371E+00	0.2970E+00	0.2970E+00
26	0.5000E+00	0.9224E+00	-0.2401E+00	0.3033E+00	0.3033E+00
27	0.5200E+00	0.9176E+00	-0.2427E+00	0.3092E+00	0.3092E+00
28	0.5400E+00	0.9127E+00	-0.2450E+00	0.3147E+00	0.3147E+00
29	0.5600E+00	0.9078E+00	-0.2470E+00	0.3199E+00	0.3199E+00
30	0.5800E+00	0.9028E+00	-0.2488E+00	0.3247E+00	0.3247E+00
31	0.6000E+00	0.8979E+00	-0.2503E+00	0.3293E+00	0.3293E+00

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.9649E-02, \tilde{a}_{12} = 0.9980E+00, \tilde{b}_{11} = 0.2428E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.9707E+00, \tilde{a}_{22} = -0.1995E+01, \tilde{b}_{22} = 0.9404E+00. \end{aligned} \quad (23.2A)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E-06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.9651E-02, \tilde{a}_{12} = 0.9979E+00, \tilde{b}_{11} = 0.2419E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.9707E+00, \tilde{a}_{22} = -0.1998E+01, \tilde{b}_{22} = 0.9381E+00, (r = 30). \end{aligned} \quad (23.3A)$$

Вариант 24А

Таблица 24.1А – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.2000E+01	0.1250E+01	0.2781E+01	0.2781E+01
2	0.5236E-01	0.2061E+01	0.1072E+01	0.2740E+01	0.2740E+01
3	0.1047E+00	0.2112E+01	0.9020E+00	0.2691E+01	0.2691E+01
4	0.1571E+00	0.2155E+01	0.7393E+00	0.2635E+01	0.2635E+01
5	0.2094E+00	0.2190E+01	0.5839E+00	0.2571E+01	0.2571E+01
6	0.2618E+00	0.2217E+01	0.4357E+00	0.2500E+01	0.2500E+01
7	0.3142E+00	0.2236E+01	0.2944E+00	0.2423E+01	0.2423E+01
8	0.3665E+00	0.2248E+01	0.1598E+00	0.2339E+01	0.2339E+01
9	0.4189E+00	0.2253E+01	0.3185E-01	0.2248E+01	0.2248E+01
10	0.4712E+00	0.2251E+01	-0.8977E-01	0.2152E+01	0.2152E+01
11	0.5236E+00	0.2243E+01	-0.2053E+00	0.2049E+01	0.2049E+01
12	0.5760E+00	0.2230E+01	-0.3148E+00	0.1941E+01	0.1941E+01
13	0.6283E+00	0.2210E+01	-0.4186E+00	0.1828E+01	0.1828E+01
14	0.6807E+00	0.2186E+01	-0.5169E+00	0.1709E+01	0.1709E+01
15	0.7330E+00	0.2156E+01	-0.6099E+00	0.1586E+01	0.1586E+01
16	0.7854E+00	0.2122E+01	-0.6978E+00	0.1458E+01	0.1458E+01
17	0.8378E+00	0.2083E+01	-0.7808E+00	0.1327E+01	0.1327E+01
18	0.8901E+00	0.2040E+01	-0.8590E+00	0.1192E+01	0.1192E+01
19	0.9425E+00	0.1993E+01	-0.9327E+00	0.1053E+01	0.1053E+01
20	0.9948E+00	0.1943E+01	-0.1002E+01	0.9120E+00	0.9120E+00
21	0.1047E+01	0.1889E+01	-0.1067E+01	0.7682E+00	0.7682E+00
22	0.1100E+01	0.1831E+01	-0.1128E+01	0.6223E+00	0.6223E+00
23	0.1152E+01	0.1771E+01	-0.1185E+01	0.4746E+00	0.4746E+00
24	0.1204E+01	0.1707E+01	-0.1238E+01	0.3257E+00	0.3257E+00
25	0.1257E+01	0.1641E+01	-0.1287E+01	0.1759E+00	0.1759E+00
26	0.1309E+01	0.1572E+01	-0.1332E+01	0.2558E-01	0.2558E-01
27	0.1361E+01	0.1502E+01	-0.1375E+01	-0.1248E+00	-0.1248E+00
28	0.1414E+01	0.1429E+01	-0.1413E+01	-0.2748E+00	-0.2748E+00
29	0.1466E+01	0.1354E+01	-0.1448E+01	-0.4241E+00	-0.4241E+00
30	0.1518E+01	0.1277E+01	-0.1480E+01	-0.5722E+00	-0.5722E+00
31	0.1571E+01	0.1199E+01	-0.1509E+01	-0.7187E+00	-0.7187E+00

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.5006E-01, \tilde{a}_{12} = 0.9568E+00, \tilde{b}_{11} = 0.2338E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1980E+01, \tilde{a}_{22} = -0.1715E+01, \tilde{b}_{22} = 0.9749E+00. \end{aligned} \quad (24.2A)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E-06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.5006E-01, \tilde{a}_{12} = 0.9568E+00, \tilde{b}_{11} = 0.2338E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1980E+01, \tilde{a}_{22} = -0.1715E+01, \tilde{b}_{22} = 0.9749E+00, (r = 30). \end{aligned} \quad (24.3A)$$

3) Метод стохастической аппроксимации ($\alpha = 1.0$).

Вариант 25А

Таблица 25.1А – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.2000E+01	0.1500E+01	0.1075E+02	0.1075E+02
2	0.2618E-01	0.2037E+01	0.1286E+01	0.9442E+01	0.9442E+01
3	0.5236E-01	0.2067E+01	0.1057E+01	0.8076E+01	0.8076E+01
4	0.7854E-01	0.2092E+01	0.8139E+00	0.6659E+01	0.6659E+01
5	0.1047E+00	0.2110E+01	0.5587E+00	0.5202E+01	0.5202E+01
6	0.1309E+00	0.2121E+01	0.2926E+00	0.3713E+01	0.3713E+01
7	0.1571E+00	0.2125E+01	0.1731E-01	0.2201E+01	0.2201E+01
8	0.1833E+00	0.2122E+01	-0.2655E+00	0.6753E+00	0.6753E+00
9	0.2094E+00	0.2111E+01	-0.5541E+00	-0.8546E+00	-0.8546E+00
10	0.2356E+00	0.2093E+01	-0.8465E+00	-0.2379E+01	-0.2379E+01
11	0.2618E+00	0.2067E+01	-0.1141E+01	-0.3889E+01	-0.3889E+01
12	0.2880E+00	0.2033E+01	-0.1436E+01	-0.5375E+01	-0.5375E+01
13	0.3142E+00	0.1991E+01	-0.1728E+01	-0.6828E+01	-0.6828E+01
14	0.3403E+00	0.1942E+01	-0.2018E+01	-0.8239E+01	-0.8239E+01
15	0.3665E+00	0.1886E+01	-0.2301E+01	-0.9598E+01	-0.9598E+01
16	0.3927E+00	0.1822E+01	-0.2577E+01	-0.1090E+02	-0.1090E+02
17	0.4189E+00	0.1751E+01	-0.2843E+01	-0.1213E+02	-0.1213E+02
18	0.4451E+00	0.1673E+01	-0.3099E+01	-0.1329E+02	-0.1329E+02
19	0.4712E+00	0.1589E+01	-0.3341E+01	-0.1437E+02	-0.1437E+02
20	0.4974E+00	0.1498E+01	-0.3569E+01	-0.1536E+02	-0.1536E+02
21	0.5236E+00	0.1402E+01	-0.3780E+01	-0.1625E+02	-0.1625E+02
22	0.5498E+00	0.1301E+01	-0.3974E+01	-0.1704E+02	-0.1704E+02
23	0.5760E+00	0.1194E+01	-0.4149E+01	-0.1773E+02	-0.1773E+02
24	0.6021E+00	0.1084E+01	-0.4303E+01	-0.1831E+02	-0.1831E+02
25	0.6283E+00	0.9692E+00	-0.4437E+01	-0.1878E+02	-0.1878E+02
26	0.6545E+00	0.8515E+00	-0.4547E+01	-0.1913E+02	-0.1913E+02
27	0.6807E+00	0.7313E+00	-0.4635E+01	-0.1936E+02	-0.1936E+02
28	0.7069E+00	0.6091E+00	-0.4698E+01	-0.1947E+02	-0.1947E+02
29	0.7330E+00	0.4855E+00	-0.4737E+01	-0.1947E+02	-0.1947E+02
30	0.7592E+00	0.3612E+00	-0.4752E+01	-0.1934E+02	-0.1934E+02
31	0.7854E+00	0.2369E+00	-0.4740E+01	-0.1909E+02	-0.1909E+02

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.8076E-01, \tilde{a}_{12} = 0.9337E+00, \tilde{b}_{11} = 0.1455E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.6140E+01, \tilde{a}_{22} = -0.4880E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1061E+01. \end{aligned} \quad (25.2A)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E-06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.8076E-01, \tilde{a}_{12} = 0.9337E+00, \tilde{b}_{11} = 0.1455E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.6140E+01, \tilde{a}_{22} = -0.4880E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1061E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (25.3A)$$

Вариант 26А

Таблица 26.1А – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.3000E+01	-0.2000E+01	0.4000E+01	0.4000E+01
2	0.1047E+00	0.2811E+01	-0.1633E+01	0.3769E+01	0.3769E+01
3	0.2094E+00	0.2655E+01	-0.1356E+01	0.3497E+01	0.3497E+01
4	0.3142E+00	0.2524E+01	-0.1155E+01	0.3186E+01	0.3186E+01
5	0.4189E+00	0.2411E+01	-0.1016E+01	0.2841E+01	0.2841E+01
6	0.5236E+00	0.2309E+01	-0.9282E+00	0.2464E+01	0.2464E+01
7	0.6283E+00	0.2215E+01	-0.8815E+00	0.2060E+01	0.2060E+01
8	0.7330E+00	0.2124E+01	-0.8681E+00	0.1634E+01	0.1634E+01
9	0.8378E+00	0.2032E+01	-0.8811E+00	0.1190E+01	0.1190E+01
10	0.9425E+00	0.1938E+01	-0.9146E+00	0.7331E+00	0.7331E+00
11	0.1047E+01	0.1840E+01	-0.9632E+00	0.2679E+00	0.2679E+00
12	0.1152E+01	0.1736E+01	-0.1023E+01	-0.2001E+00	-0.2001E+00
13	0.1257E+01	0.1626E+01	-0.1089E+01	-0.6660E+00	-0.6660E+00
14	0.1361E+01	0.1508E+01	-0.1158E+01	-0.1125E+01	-0.1125E+01
15	0.1466E+01	0.1383E+01	-0.1227E+01	-0.1571E+01	-0.1571E+01
16	0.1571E+01	0.1251E+01	-0.1294E+01	-0.2000E+01	-0.2000E+01
17	0.1676E+01	0.1112E+01	-0.1356E+01	-0.2407E+01	-0.2407E+01
18	0.1780E+01	0.9673E+00	-0.1412E+01	-0.2788E+01	-0.2788E+01
19	0.1885E+01	0.8169E+00	-0.1458E+01	-0.3138E+01	-0.3138E+01
20	0.1990E+01	0.6622E+00	-0.1494E+01	-0.3454E+01	-0.3454E+01
21	0.2094E+01	0.5043E+00	-0.1519E+01	-0.3732E+01	-0.3732E+01
22	0.2199E+01	0.3444E+00	-0.1532E+01	-0.3969E+01	-0.3969E+01
23	0.2304E+01	0.1839E+00	-0.1532E+01	-0.4163E+01	-0.4163E+01
24	0.2409E+01	0.2402E-01	-0.1518E+01	-0.4311E+01	-0.4311E+01
25	0.2513E+01	-0.1337E+00	-0.1491E+01	-0.4412E+01	-0.4412E+01
26	0.2618E+01	-0.2878E+00	-0.1450E+01	-0.4464E+01	-0.4464E+01
27	0.2723E+01	-0.4368E+00	-0.1395E+01	-0.4468E+01	-0.4468E+01
28	0.2827E+01	-0.5794E+00	-0.1326E+01	-0.4422E+01	-0.4422E+01
29	0.2932E+01	-0.7141E+00	-0.1245E+01	-0.4328E+01	-0.4328E+01
30	0.3037E+01	-0.8397E+00	-0.1152E+01	-0.4187E+01	-0.4187E+01
31	0.3142E+01	-0.9549E+00	-0.1047E+01	-0.4000E+01	-0.4000E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.1017E+00, \tilde{a}_{12} = 0.8499E+00, \tilde{b}_{11} = 0.4937E - 01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1900E+01, \tilde{a}_{22} = -0.2787E+01, \tilde{b}_{22} = 0.9103E+00. \end{aligned} \quad (26.2A)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.1017E+00, \tilde{a}_{12} = 0.8499E+00, \tilde{b}_{11} = 0.4937E - 01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1900E+01, \tilde{a}_{22} = -0.2787E+01, \tilde{b}_{22} = 0.9103E+00, (r = 30). \end{aligned} \quad (26.3A)$$

Вариант 27А

Таблица 27.1А – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.3000E+01	-0.4000E+01	0.1000E+02	0.1000E+02
2	0.1000E+00	0.2654E+01	-0.2965E+01	0.9950E+01	0.9950E+01
3	0.2000E+00	0.2398E+01	-0.2206E+01	0.9801E+01	0.9801E+01
4	0.3000E+00	0.2206E+01	-0.1658E+01	0.9553E+01	0.9553E+01
5	0.4000E+00	0.2061E+01	-0.1271E+01	0.9211E+01	0.9211E+01
6	0.5000E+00	0.1948E+01	-0.1007E+01	0.8776E+01	0.8776E+01
7	0.6000E+00	0.1856E+01	-0.8376E+00	0.8253E+01	0.8253E+01
8	0.7000E+00	0.1778E+01	-0.7399E+00	0.7648E+01	0.7648E+01
9	0.8000E+00	0.1707E+01	-0.6966E+00	0.6967E+01	0.6967E+01
10	0.9000E+00	0.1637E+01	-0.6939E+00	0.6216E+01	0.6216E+01
11	0.1000E+01	0.1567E+01	-0.7212E+00	0.5403E+01	0.5403E+01
12	0.1100E+01	0.1492E+01	-0.7699E+00	0.4536E+01	0.4536E+01
13	0.1200E+01	0.1412E+01	-0.8331E+00	0.3624E+01	0.3624E+01
14	0.1300E+01	0.1326E+01	-0.9053E+00	0.2675E+01	0.2675E+01
15	0.1400E+01	0.1231E+01	-0.9821E+00	0.1700E+01	0.1700E+01
16	0.1500E+01	0.1129E+01	-0.1060E+01	0.7074E+00	0.7074E+00
17	0.1600E+01	0.1019E+01	-0.1135E+01	-0.2920E+00	-0.2920E+00
18	0.1700E+01	0.9023E+00	-0.1206E+01	-0.1288E+01	-0.1288E+01
19	0.1800E+01	0.7785E+00	-0.1269E+01	-0.2272E+01	-0.2272E+01
20	0.1900E+01	0.6487E+00	-0.1324E+01	-0.3233E+01	-0.3233E+01
21	0.2000E+01	0.5139E+00	-0.1370E+01	-0.4161E+01	-0.4161E+01
22	0.2100E+01	0.3752E+00	-0.1404E+01	-0.5048E+01	-0.5048E+01
23	0.2200E+01	0.2336E+00	-0.1426E+01	-0.5885E+01	-0.5885E+01
24	0.2300E+01	0.9049E-01	-0.1435E+01	-0.6663E+01	-0.6663E+01
25	0.2400E+01	-0.5295E-01	-0.1432E+01	-0.7374E+01	-0.7374E+01
26	0.2500E+01	-0.1954E+00	-0.1415E+01	-0.8011E+01	-0.8011E+01
27	0.2600E+01	-0.3355E+00	-0.1385E+01	-0.8569E+01	-0.8569E+01
28	0.2700E+01	-0.4719E+00	-0.1341E+01	-0.9041E+01	-0.9041E+01
29	0.2800E+01	-0.6033E+00	-0.1285E+01	-0.9422E+01	-0.9422E+01
30	0.2900E+01	-0.7285E+00	-0.1217E+01	-0.9710E+01	-0.9710E+01
31	0.3000E+01	-0.8463E+00	-0.1136E+01	-0.9900E+01	-0.9900E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.2780E+00, \tilde{a}_{12} = 0.7698E+00, \tilde{b}_{11} = 0.4569E - 01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.5368E+01, \tilde{a}_{22} = -0.4428E+01, \tilde{b}_{22} = 0.8756E+00. \end{aligned} \quad (27.2A)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.2780E+00, \tilde{a}_{12} = 0.7698E+00, \tilde{b}_{11} = 0.4569E - 01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.5368E+01, \tilde{a}_{22} = -0.4428E+01, \tilde{b}_{22} = 0.8756E+00, (r = 30). \end{aligned} \quad (27.3A)$$

Вариант 28А

Таблица 28.1А – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.1000E+01	0.1000E+01
2	0.3491E-01	0.6233E-03	0.3611E-01	0.1069E+01	0.1069E+01
3	0.6981E-01	0.2548E-02	0.7456E-01	0.1137E+01	0.1137E+01
4	0.1047E+00	0.5855E-02	0.1153E+00	0.1202E+01	0.1202E+01
5	0.1396E+00	0.1062E-01	0.1581E+00	0.1266E+01	0.1266E+01
6	0.1745E+00	0.1691E-01	0.2028E+00	0.1327E+01	0.1327E+01
7	0.2094E+00	0.2480E-01	0.2495E+00	0.1385E+01	0.1385E+01
8	0.2443E+00	0.3435E-01	0.2977E+00	0.1440E+01	0.1440E+01
9	0.2793E+00	0.4560E-01	0.3475E+00	0.1491E+01	0.1491E+01
10	0.3142E+00	0.5862E-01	0.3986E+00	0.1539E+01	0.1539E+01
11	0.3491E+00	0.7344E-01	0.4508E+00	0.1582E+01	0.1582E+01
12	0.3840E+00	0.9010E-01	0.5039E+00	0.1622E+01	0.1622E+01
13	0.4189E+00	0.1086E+00	0.5576E+00	0.1657E+01	0.1657E+01
14	0.4538E+00	0.1290E+00	0.6119E+00	0.1687E+01	0.1687E+01
15	0.4887E+00	0.1513E+00	0.6663E+00	0.1712E+01	0.1712E+01
16	0.5236E+00	0.1756E+00	0.7207E+00	0.1732E+01	0.1732E+01
17	0.5585E+00	0.2017E+00	0.7749E+00	0.1747E+01	0.1747E+01
18	0.5934E+00	0.2296E+00	0.8285E+00	0.1756E+01	0.1756E+01
19	0.6283E+00	0.2595E+00	0.8814E+00	0.1760E+01	0.1760E+01
20	0.6632E+00	0.2912E+00	0.9332E+00	0.1758E+01	0.1758E+01
21	0.6981E+00	0.3246E+00	0.9837E+00	0.1751E+01	0.1751E+01
22	0.7330E+00	0.3598E+00	0.1033E+01	0.1738E+01	0.1738E+01
23	0.7679E+00	0.3967E+00	0.1080E+01	0.1719E+01	0.1719E+01
24	0.8029E+00	0.4352E+00	0.1125E+01	0.1694E+01	0.1694E+01
25	0.8378E+00	0.4752E+00	0.1168E+01	0.1664E+01	0.1664E+01
26	0.8727E+00	0.5167E+00	0.1208E+01	0.1628E+01	0.1628E+01
27	0.9076E+00	0.5595E+00	0.1245E+01	0.1586E+01	0.1586E+01
28	0.9425E+00	0.6036E+00	0.1279E+01	0.1539E+01	0.1539E+01
29	0.9774E+00	0.6488E+00	0.1310E+01	0.1486E+01	0.1486E+01
30	0.1012E+01	0.6950E+00	0.1338E+01	0.1429E+01	0.1429E+01
31	0.1047E+01	0.7421E+00	0.1361E+01	0.1366E+01	0.1366E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.1834E-01, \tilde{a}_{12} = 0.9995E+00, \tilde{b}_{11} = 0.1775E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.9772E+00, \tilde{a}_{22} = -0.9029E-01, \tilde{b}_{22} = 0.1033E+01. \end{aligned} \quad (28.2A)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E-06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.1838E-01, \tilde{a}_{12} = 0.9995E+00, \tilde{b}_{11} = 0.1775E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.9772E+00, \tilde{a}_{22} = -0.9031E-01, \tilde{b}_{22} = 0.1033E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (28.3A)$$

Вариант 29А

Таблица 29.1А – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.4000E+01	0.1000E+01	0.1000E+01
2	0.3491E-01	0.1407E+00	0.4060E+01	0.9976E+00	0.9976E+00
3	0.6981E-01	0.2832E+00	0.4100E+01	0.9903E+00	0.9903E+00
4	0.1047E+00	0.4267E+00	0.4119E+01	0.9781E+00	0.9781E+00
5	0.1396E+00	0.5705E+00	0.4117E+01	0.9613E+00	0.9613E+00
6	0.1745E+00	0.7139E+00	0.4094E+01	0.9397E+00	0.9397E+00
7	0.2094E+00	0.8561E+00	0.4049E+01	0.9135E+00	0.9135E+00
8	0.2443E+00	0.9963E+00	0.3982E+01	0.8829E+00	0.8829E+00
9	0.2793E+00	0.1134E+01	0.3894E+01	0.8480E+00	0.8480E+00
10	0.3142E+00	0.1268E+01	0.3784E+01	0.8090E+00	0.8090E+00
11	0.3491E+00	0.1398E+01	0.3653E+01	0.7660E+00	0.7660E+00
12	0.3840E+00	0.1523E+01	0.3501E+01	0.7193E+00	0.7193E+00
13	0.4189E+00	0.1642E+01	0.3328E+01	0.6691E+00	0.6691E+00
14	0.4538E+00	0.1755E+01	0.3136E+01	0.6157E+00	0.6157E+00
15	0.4887E+00	0.1861E+01	0.2925E+01	0.5592E+00	0.5592E+00
16	0.5236E+00	0.1959E+01	0.2695E+01	0.5000E+00	0.5000E+00
17	0.5585E+00	0.2049E+01	0.2448E+01	0.4384E+00	0.4384E+00
18	0.5934E+00	0.2129E+01	0.2184E+01	0.3746E+00	0.3746E+00
19	0.6283E+00	0.2201E+01	0.1906E+01	0.3090E+00	0.3090E+00
20	0.6632E+00	0.2262E+01	0.1613E+01	0.2419E+00	0.2419E+00
21	0.6981E+00	0.2313E+01	0.1308E+01	0.1736E+00	0.1736E+00
22	0.7330E+00	0.2354E+01	0.9920E+00	0.1045E+00	0.1045E+00
23	0.7679E+00	0.2383E+01	0.6661E+00	0.3490E-01	0.3490E-01
24	0.8029E+00	0.2400E+01	0.3321E+00	-0.3490E-01	-0.3490E-01
25	0.8378E+00	0.2406E+01	-0.8422E-02	-0.1045E+00	-0.1045E+00
26	0.8727E+00	0.2399E+01	-0.3537E+00	-0.1736E+00	-0.1736E+00
27	0.9076E+00	0.2381E+01	-0.7021E+00	-0.2419E+00	-0.2419E+00
28	0.9425E+00	0.2350E+01	-0.1052E+01	-0.3090E+00	-0.3090E+00
29	0.9774E+00	0.2307E+01	-0.1401E+01	-0.3746E+00	-0.3746E+00
30	0.1012E+01	0.2253E+01	-0.1748E+01	-0.4384E+00	-0.4384E+00
31	0.1047E+01	0.2186E+01	-0.2091E+01	-0.5000E+00	-0.5000E+00

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.6809E-01, \tilde{a}_{12} = 0.9911E+00, \tilde{b}_{11} = 0.6896E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.4026E+01, \tilde{a}_{22} = -0.7280E-01, \tilde{b}_{22} = 0.2007E+01. \end{aligned} \quad (29.2A)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E-06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.6809E-01, \tilde{a}_{12} = 0.9911E+00, \tilde{b}_{11} = 0.6896E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.4026E+01, \tilde{a}_{22} = -0.7280E-01, \tilde{b}_{22} = 0.2007E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (29.3A)$$

Вариант 30А

Таблица 30.1А – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.7854E+00	0.1381E+00	0.4714E+00	0.1000E+01	0.1000E+01
2	0.8378E+00	0.1639E+00	0.5158E+00	0.9945E+00	0.9945E+00
3	0.8901E+00	0.1920E+00	0.5582E+00	0.9781E+00	0.9781E+00
4	0.9425E+00	0.2223E+00	0.5979E+00	0.9511E+00	0.9511E+00
5	0.9948E+00	0.2546E+00	0.6343E+00	0.9135E+00	0.9135E+00
6	0.1047E+01	0.2887E+00	0.6667E+00	0.8660E+00	0.8660E+00
7	0.1100E+01	0.3243E+00	0.6945E+00	0.8090E+00	0.8090E+00
8	0.1152E+01	0.3613E+00	0.7172E+00	0.7431E+00	0.7431E+00
9	0.1204E+01	0.3993E+00	0.7343E+00	0.6691E+00	0.6691E+00
10	0.1257E+01	0.4381E+00	0.7454E+00	0.5878E+00	0.5878E+00
11	0.1309E+01	0.4773E+00	0.7499E+00	0.5000E+00	0.5000E+00
12	0.1361E+01	0.5165E+00	0.7476E+00	0.4067E+00	0.4067E+00
13	0.1414E+01	0.5555E+00	0.7383E+00	0.3090E+00	0.3090E+00
14	0.1466E+01	0.5937E+00	0.7218E+00	0.2079E+00	0.2079E+00
15	0.1518E+01	0.6309E+00	0.6979E+00	0.1045E+00	0.1045E+00
16	0.1571E+01	0.6667E+00	0.6667E+00	0.5359E-07	0.5359E-07
17	0.1623E+01	0.7006E+00	0.6281E+00	-0.1045E+00	-0.1045E+00
18	0.1676E+01	0.7323E+00	0.5824E+00	-0.2079E+00	-0.2079E+00
19	0.1728E+01	0.7615E+00	0.5297E+00	-0.3090E+00	-0.3090E+00
20	0.1780E+01	0.7877E+00	0.4704E+00	-0.4067E+00	-0.4067E+00
21	0.1833E+01	0.8106E+00	0.4048E+00	-0.5000E+00	-0.5000E+00
22	0.1885E+01	0.8300E+00	0.3333E+00	-0.5878E+00	-0.5878E+00
23	0.1937E+01	0.8454E+00	0.2565E+00	-0.6691E+00	-0.6691E+00
24	0.1990E+01	0.8567E+00	0.1749E+00	-0.7431E+00	-0.7431E+00
25	0.2042E+01	0.8637E+00	0.8920E-01	-0.8090E+00	-0.8090E+00
26	0.2094E+01	0.8660E+00	0.6188E-07	-0.8660E+00	-0.8660E+00
27	0.2147E+01	0.8636E+00	-0.9193E-01	-0.9135E+00	-0.9135E+00
28	0.2199E+01	0.8564E+00	-0.1858E+00	-0.9511E+00	-0.9511E+00
29	0.2251E+01	0.8441E+00	-0.2809E+00	-0.9781E+00	-0.9781E+00
30	0.2304E+01	0.8269E+00	-0.3764E+00	-0.9945E+00	-0.9945E+00
31	0.2356E+01	0.8047E+00	-0.4714E+00	-0.1000E+01	-0.1000E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.2663E-01, \tilde{a}_{12} = 0.9987E+00, \tilde{b}_{11} = 0.2634E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.9990E+00, \tilde{a}_{22} = -0.1050E+00, \tilde{b}_{22} = 0.1029E+01. \end{aligned} \quad (30.2A)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E-06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.2663E-01, \tilde{a}_{12} = 0.9987E+00, \tilde{b}_{11} = 0.2634E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.9990E+00, \tilde{a}_{22} = -0.1050E+00, \tilde{b}_{22} = 0.1029E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (30.3A)$$

Вариант 1В

Таблица 1.1В – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t) = u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.1000E+01	0.1000E+01	0.0000E+00
2	0.1000E+00	0.1095E+01	0.9097E+00	0.1000E+00
3	0.2000E+00	0.1183E+01	0.8375E+00	0.2000E+00
4	0.3000E+00	0.1263E+01	0.7816E+00	0.3000E+00
5	0.4000E+00	0.1339E+01	0.7406E+00	0.4000E+00
6	0.5000E+00	0.1412E+01	0.7131E+00	0.5000E+00
7	0.6000E+00	0.1482E+01	0.6976E+00	0.6000E+00
8	0.7000E+00	0.1552E+01	0.6932E+00	0.7000E+00
9	0.8000E+00	0.1621E+01	0.6987E+00	0.8000E+00
10	0.9000E+00	0.1692E+01	0.7131E+00	0.9000E+00
11	0.1000E+01	0.1764E+01	0.7358E+00	0.1000E+01
12	0.1100E+01	0.1839E+01	0.7657E+00	0.1100E+01
13	0.1200E+01	0.1918E+01	0.8024E+00	0.1200E+01
14	0.1300E+01	0.2000E+01	0.8451E+00	0.1300E+01
15	0.1400E+01	0.2087E+01	0.8932E+00	0.1400E+01
16	0.1500E+01	0.2179E+01	0.9463E+00	0.1500E+01
17	0.1600E+01	0.2276E+01	0.1004E+01	0.1600E+01
18	0.1700E+01	0.2380E+01	0.1065E+01	0.1700E+01
19	0.1800E+01	0.2489E+01	0.1131E+01	0.1800E+01
20	0.1900E+01	0.2606E+01	0.1199E+01	0.1900E+01
21	0.2000E+01	0.2729E+01	0.1271E+01	0.2000E+01
22	0.2100E+01	0.2860E+01	0.1345E+01	0.2100E+01
23	0.2200E+01	0.2998E+01	0.1422E+01	0.2200E+01
24	0.2300E+01	0.3144E+01	0.1501E+01	0.2300E+01
25	0.2400E+01	0.3299E+01	0.1581E+01	0.2400E+01
26	0.2500E+01	0.3461E+01	0.1664E+01	0.2500E+01
27	0.2600E+01	0.3631E+01	0.1749E+01	0.2600E+01
28	0.2700E+01	0.3811E+01	0.1834E+01	0.2700E+01
29	0.2800E+01	0.3998E+01	0.1922E+01	0.2800E+01
30	0.2900E+01	0.4195E+01	0.2010E+01	0.2900E+01
31	0.3000E+02	0.4400E+01	0.2100E+01	0.3000E+02

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.3849E - 02, \tilde{a}_{12} = 0.9484E+00, \tilde{b}_{11} = 0.4565E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= 0.7955E - 01, \tilde{a}_{22} = -0.9919E+00, \tilde{b}_{22} = 0.8886E+00. \end{aligned} \quad (1.2B)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 04$).

Начальное приближение.

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.3729E - 02, \tilde{a}_{12} = 0.9486E+00, \tilde{b}_{11} = 0.4572E - 01, \\ \tilde{a}_{21} &= 0.7971E - 01, \tilde{a}_{22} = -0.9922E+00, \tilde{b}_{22} = 0.8886E+00, (r = 30). \end{aligned} \quad (1.3B)$$

Вариант 2В

Таблица 2.1В – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t) = u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.1000E+01	0.7500E+00	0.1250E+00
2	0.1000E+00	0.1076E+01	0.7589E+00	0.1225E+00
3	0.2000E+00	0.1152E+01	0.7596E+00	0.1151E+00
4	0.3000E+00	0.1227E+01	0.7501E+00	0.1032E+00
5	0.4000E+00	0.1301E+01	0.7285E+00	0.8709E-01
6	0.5000E+00	0.1372E+01	0.6926E+00	0.6754E-01
7	0.6000E+00	0.1439E+01	0.6403E+00	0.4529E-01
8	0.7000E+00	0.1500E+01	0.5692E+00	0.2125E-01
9	0.8000E+00	0.1552E+01	0.4770E+00	-0.3650E-02
10	0.9000E+00	0.1594E+01	0.3615E+00	-0.2840E-01
11	0.1000E+01	0.1624E+01	0.2203E+00	-0.5202E-01
12	0.1100E+01	0.1637E+01	0.5114E-01	-0.7356E-01
13	0.1200E+01	0.1633E+01	-0.1482E+00	-0.9217E-01
14	0.1300E+01	0.1607E+01	-0.3799E+00	-0.1071E+00
15	0.1400E+01	0.1556E+01	-0.6458E+00	-0.1178E+00
16	0.1500E+01	0.1476E+01	-0.9478E+00	-0.1237E+00
17	0.1600E+01	0.1365E+01	-0.1288E+01	-0.1248E+00
18	0.1700E+01	0.1218E+01	-0.1667E+01	-0.1208E+00
19	0.1800E+01	0.1030E+01	-0.2086E+01	-0.1121E+00
20	0.1900E+01	0.7990E+00	-0.2547E+01	-0.9887E-01
21	0.2000E+01	0.5195E+00	-0.3050E+01	-0.8171E-01
22	0.2100E+01	0.1876E+00	-0.3595E+01	-0.6128E-01
23	0.2200E+01	-0.2009E+00	-0.4183E+01	-0.3842E-01
24	0.2300E+01	-0.6503E+00	-0.4812E+01	-0.1402E-01
25	0.2400E+01	-0.1165E+01	-0.5482E+01	0.1094E-01
26	0.2500E+01	-0.1748E+01	-0.6192E+01	0.3546E-01
27	0.2600E+01	-0.2404E+01	-0.6939E+01	0.5856E-01
28	0.2700E+01	-0.3137E+01	-0.7720E+01	0.7934E-01
29	0.2800E+01	-0.3949E+01	-0.8532E+01	0.9695E-01
30	0.2900E+01	-0.4844E+01	-0.9370E+01	0.1107E+00
31	0.3000E+02	-0.5824E+01	-0.1023E+02	0.1200E+00

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.8171E+00, \tilde{a}_{12} = 0.3385E+00, \tilde{b}_{11} = -0.1088E+04, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1953E+01, \tilde{a}_{22} = 0.6794E+00, \tilde{b}_{22} = 0.1193E+04. \end{aligned} \quad (2.2B)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 04$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.8170E+00, \tilde{a}_{12} = 0.3385E+00, \tilde{b}_{11} = -0.1089E+04, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1953E+01, \tilde{a}_{22} = 0.6793E+00, \tilde{b}_{22} = 0.1190E+04, (r = 30). \end{aligned} \quad (2.3B)$$

Вариант 3В

Таблица 3.1В – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	-0.2000E+01	0.0000E+00	0.1000E+01	-0.2000E+01
2	0.1000E+00	-0.1880E+01	0.3199E+00	0.1095E+01	-0.1590E+01
3	0.2000E+00	-0.1724E+01	0.6157E+00	0.1179E+01	-0.1160E+01
4	0.3000E+00	-0.1533E+01	0.8825E+00	0.1251E+01	-0.7107E+00
5	0.4000E+00	-0.1313E+01	0.1117E+01	0.1310E+01	-0.2421E+00
6	0.5000E+00	-0.1068E+01	0.1317E+01	0.1357E+01	0.2448E+00
7	0.6000E+00	-0.8015E+00	0.1481E+01	0.1390E+01	0.7493E+00
8	0.7000E+00	-0.5185E+00	0.1611E+01	0.1409E+01	0.1270E+01
9	0.8000E+00	-0.2235E+00	0.1706E+01	0.1414E+01	0.1807E+01
10	0.9000E+00	0.7918E-01	0.1770E+01	0.1405E+01	0.2357E+01
11	0.1000E+01	0.3854E+00	0.1806E+01	0.1382E+01	0.2919E+01
12	0.1100E+01	0.6913E+00	0.1816E+01	0.1345E+01	0.3493E+01
13	0.1200E+01	0.9935E+00	0.1806E+01	0.1294E+01	0.4075E+01
14	0.1300E+01	0.1289E+01	0.1778E+01	0.1231E+01	0.4665E+01
15	0.1400E+01	0.1575E+01	0.1738E+01	0.1155E+01	0.5260E+01
16	0.1500E+01	0.1850E+01	0.1690E+01	0.1068E+01	0.5859E+01
17	0.1600E+01	0.2112E+01	0.1638E+01	0.9704E+00	0.6458E+01
18	0.1700E+01	0.2359E+01	0.1586E+01	0.8628E+00	0.7058E+01
19	0.1800E+01	0.2592E+01	0.1537E+01	0.7466E+00	0.7654E+01
20	0.1900E+01	0.2809E+01	0.1496E+01	0.6230E+00	0.8247E+01
21	0.2000E+01	0.3011E+01	0.1464E+01	0.4932E+00	0.8832E+01
22	0.2100E+01	0.3198E+01	0.1444E+01	0.3584E+00	0.9410E+01
23	0.2200E+01	0.3372E+01	0.1437E+01	0.2200E+00	0.9977E+01
24	0.2300E+01	0.3532E+01	0.1445E+01	0.7943E-01	0.1053E+02
25	0.2400E+01	0.3681E+01	0.1469E+01	-0.6193E-01	0.1107E+02
26	0.2500E+01	0.3819E+01	0.1507E+01	-0.2027E+00	0.1160E+02
27	0.2600E+01	0.3949E+01	0.1560E+01	-0.3414E+00	0.1211E+02
28	0.2700E+01	0.4071E+01	0.1627E+01	-0.4767E+00	0.1261E+02
29	0.2800E+01	0.4188E+01	0.1707E+01	-0.6072E+00	0.1308E+02
30	0.2900E+01	0.4300E+01	0.1797E+01	-0.7317E+00	0.1354E+02
31	0.3000E+02	0.4410E+01	0.1895E+01	-0.8489E+00	0.1398E+02

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.4909E-01, \tilde{a}_{12} = 0.1069E+01, \tilde{b}_{11} = 0.8784E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.2646E+01, \tilde{a}_{22} = -0.1087E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1058E+01. \end{aligned} \quad (3.2B)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E-04$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.4909E-01, \tilde{a}_{12} = 0.1069E+01, \tilde{b}_{11} = 0.8784E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.2646E+01, \tilde{a}_{22} = -0.1087E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1058E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (3.3B)$$

Вариант 4В

Таблица 4.1В – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.1500E+01	0.0000E+00	0.1000E+01	0.1000E+01
2	0.1047E+00	0.1597E+01	-0.2534E+00	0.1099E+01	0.9945E+00
3	0.2094E+00	0.1677E+01	-0.4893E+00	0.1186E+01	0.9781E+00
4	0.3142E+00	0.1743E+01	-0.7068E+00	0.1260E+01	0.9511E+00
5	0.4189E+00	0.1793E+01	-0.9052E+00	0.1320E+01	0.9135E+00
6	0.5236E+00	0.1830E+01	-0.1084E+01	0.1366E+01	0.8660E+00
7	0.6283E+00	0.1853E+01	-0.1243E+01	0.1397E+01	0.8090E+00
8	0.7330E+00	0.1862E+01	-0.1381E+01	0.1412E+01	0.7431E+00
9	0.8378E+00	0.1859E+01	-0.1499E+01	0.1412E+01	0.6691E+00
10	0.9425E+00	0.1844E+01	-0.1597E+01	0.1397E+01	0.5878E+00
11	0.1047E+01	0.1818E+01	-0.1674E+01	0.1366E+01	0.5000E+00
12	0.1152E+01	0.1780E+01	-0.1732E+01	0.1320E+01	0.4067E+00
13	0.1257E+01	0.1732E+01	-0.1770E+01	0.1260E+01	0.3090E+00
14	0.1361E+01	0.1673E+01	-0.1789E+01	0.1186E+01	0.2079E+00
15	0.1466E+01	0.1606E+01	-0.1789E+01	0.1099E+01	0.1045E+00
16	0.1571E+01	0.1529E+01	-0.1772E+01	0.1000E+01	0.7550E-07
17	0.1676E+01	0.1444E+01	-0.1739E+01	0.8900E+00	-0.1045E+00
18	0.1780E+01	0.1351E+01	-0.1689E+01	0.7702E+00	-0.2079E+00
19	0.1885E+01	0.1252E+01	-0.1625E+01	0.6420E+00	-0.3090E+00
20	0.1990E+01	0.1146E+01	-0.1547E+01	0.5068E+00	-0.4067E+00
21	0.2094E+01	0.1034E+01	-0.1456E+01	0.3660E+00	-0.5000E+00
22	0.2199E+01	0.9179E+00	-0.1354E+01	0.2212E+00	-0.5878E+00
23	0.2304E+01	0.7974E+00	-0.1242E+01	0.7401E-01	-0.6691E+00
24	0.2409E+01	0.6736E+00	-0.1121E+01	-0.7401E-01	-0.7431E+00
25	0.2513E+01	0.5473E+00	-0.9930E+00	-0.2212E+00	-0.8090E+00
26	0.2618E+01	0.4195E+00	-0.8589E+00	-0.3660E+00	-0.8660E+00
27	0.2723E+01	0.2911E+00	-0.7201E+00	-0.5068E+00	-0.9135E+00
28	0.2827E+01	0.1629E+00	-0.5782E+00	-0.6420E+00	-0.9511E+00
29	0.2932E+01	0.3584E-01	-0.4344E+00	-0.7702E+00	-0.9781E+00
30	0.3037E+01	-0.8911E-01	-0.2903E+00	-0.8900E+00	-0.9945E+00
31	0.3142E+01	-0.2110E+00	-0.1471E+00	-0.1000E+01	-0.1000E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.4737E-01, \tilde{a}_{12} = 0.9793E+00, \tilde{b}_{11} = 0.9984E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.9476E+00, \tilde{a}_{22} = -0.9991E+00, \tilde{b}_{22} = -0.9985E+00. \end{aligned} \quad (4.2B)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E-04$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.4741E-01, \tilde{a}_{12} = 0.9793E+00, \tilde{b}_{11} = 0.9984E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.9476E+00, \tilde{a}_{22} = -0.9991E+00, \tilde{b}_{22} = -0.9984E+00, (r = 30). \end{aligned} \quad (4.3B)$$

Вариант 5В

Таблица 5.1В – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t) = u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.2000E+01	-0.1000E+01
2	0.1000E+00	0.9533E-01	0.2191E+01	-0.9000E+00
3	0.2000E+00	0.1825E+00	0.2368E+01	-0.8000E+00
4	0.3000E+00	0.2634E+00	0.2535E+01	-0.7000E+00
5	0.4000E+00	0.3394E+00	0.2698E+01	-0.6000E+00
6	0.5000E+00	0.4119E+00	0.2861E+01	-0.5000E+00
7	0.6000E+00	0.4824E+00	0.3027E+01	-0.4000E+00
8	0.7000E+00	0.5518E+00	0.3200E+01	-0.3000E+00
9	0.8000E+00	0.6213E+00	0.3384E+01	-0.2000E+00
10	0.9000E+00	0.6919E+00	0.3581E+01	-0.1000E+00
11	0.1000E+01	0.7642E+00	0.3793E+01	0.0000E+00
12	0.1100E+01	0.8393E+00	0.4023E+01	0.1000E+00
13	0.1200E+01	0.9176E+00	0.4273E+01	0.2000E+00
14	0.1300E+01	0.9999E+00	0.4545E+01	0.3000E+00
15	0.1400E+01	0.1087E+01	0.4840E+01	0.4000E+00
16	0.1500E+01	0.1179E+01	0.5161E+01	0.5000E+00
17	0.1600E+01	0.1276E+01	0.5509E+01	0.6000E+00
18	0.1700E+01	0.1380E+01	0.5884E+01	0.7000E+00
19	0.1800E+01	0.1489E+01	0.6288E+01	0.8000E+00
20	0.1900E+01	0.1606E+01	0.6723E+01	0.9000E+00
21	0.2000E+01	0.1729E+01	0.7188E+01	0.1000E+01
22	0.2100E+01	0.1860E+01	0.7685E+01	0.1100E+01
23	0.2200E+01	0.1998E+01	0.8215E+01	0.1200E+01
24	0.2300E+01	0.2144E+01	0.8778E+01	0.1300E+01
25	0.2400E+01	0.2299E+01	0.9376E+01	0.1400E+01
26	0.2500E+01	0.2461E+01	0.1001E+02	0.1500E+01
27	0.2600E+01	0.2631E+01	0.1067E+02	0.1600E+01
28	0.2700E+01	0.2811E+01	0.1138E+02	0.1700E+01
29	0.2800E+01	0.2998E+01	0.1212E+02	0.1800E+01
30	0.2900E+01	0.3195E+01	0.1289E+02	0.1900E+01
31	0.3000E+02	0.3400E+01	0.1370E+02	0.2000E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.3810E+01, \tilde{a}_{12} = 0.9633E+00, \tilde{b}_{11} = 0.9622E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1147E+02, \tilde{a}_{22} = 0.2909E+01, \tilde{b}_{22} = 0.3861E+01. \end{aligned} \quad (5.2B)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 05$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.3810E+01, \tilde{a}_{12} = 0.9634E+00, \tilde{b}_{11} = 0.9623E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1147E+02, \tilde{a}_{22} = 0.2908E+01, \tilde{b}_{22} = 0.3860E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (5.3B)$$

Вариант 6В

Таблица 6.1В – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t) = u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.5551E-16	0.0000E+00	0.1000E+01
2	0.1000E-01	0.1010E-01	0.4020E-01	0.9900E+00
3	0.2000E-01	0.2040E-01	0.8083E-01	0.9802E+00
4	0.3000E-01	0.3091E-01	0.1219E+00	0.9704E+00
5	0.4000E-01	0.4163E-01	0.1635E+00	0.9608E+00
6	0.5000E-01	0.5257E-01	0.2055E+00	0.9512E+00
7	0.6000E-01	0.6372E-01	0.2481E+00	0.9418E+00
8	0.7000E-01	0.7509E-01	0.2912E+00	0.9324E+00
9	0.8000E-01	0.8669E-01	0.3349E+00	0.9231E+00
10	0.9000E-01	0.9852E-01	0.3791E+00	0.9139E+00
11	0.1000E+00	0.1106E+00	0.4241E+00	0.9048E+00
12	0.1100E+00	0.1229E+00	0.4696E+00	0.8958E+00
13	0.1200E+00	0.1354E+00	0.5158E+00	0.8869E+00
14	0.1300E+00	0.1482E+00	0.5628E+00	0.8781E+00
15	0.1400E+00	0.1613E+00	0.6104E+00	0.8694E+00
16	0.1500E+00	0.1746E+00	0.6588E+00	0.8607E+00
17	0.1600E+00	0.1882E+00	0.7080E+00	0.8521E+00
18	0.1700E+00	0.2020E+00	0.7580E+00	0.8437E+00
19	0.1800E+00	0.2162E+00	0.8088E+00	0.8353E+00
20	0.1900E+00	0.2306E+00	0.8605E+00	0.8270E+00
21	0.2000E+00	0.2453E+00	0.9131E+00	0.8187E+00
22	0.2100E+00	0.2603E+00	0.9667E+00	0.8106E+00
23	0.2200E+00	0.2757E+00	0.1021E+01	0.8025E+00
24	0.2300E+00	0.2913E+00	0.1077E+01	0.7945E+00
25	0.2400E+00	0.3073E+00	0.1133E+01	0.7866E+00
26	0.2500E+00	0.3236E+00	0.1191E+01	0.7788E+00
27	0.2600E+00	0.3402E+00	0.1249E+01	0.7711E+00
28	0.2700E+00	0.3572E+00	0.1309E+01	0.7634E+00
29	0.2800E+00	0.3745E+00	0.1370E+01	0.7558E+00
30	0.2900E+00	0.3922E+00	0.1432E+01	0.7483E+00
31	0.3000E+00	0.4103E+00	0.1495E+01	0.7408E+00

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.8862E+00, \tilde{a}_{12} = 0.9772E+00, \tilde{b}_{11} = 0.1010E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= 0.1113E+02, \tilde{a}_{22} = -0.7344E+00, \tilde{b}_{22} = 0.4019E+01. \end{aligned} \quad (6.2B)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 08$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.8871E+00, \tilde{a}_{12} = 0.9775E+00, \tilde{b}_{11} = 0.1010E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= 0.1113E+02, \tilde{a}_{22} = -0.7344E+00, \tilde{b}_{22} = 0.4019E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (6.3B)$$

Вариант 7В

Таблица 7.1В – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t) = u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.1000E+01	-0.8000E+01	0.1000E+01
2	0.1000E-01	0.9884E+00	-0.8297E+01	0.1010E+01
3	0.2000E-01	0.9732E+00	-0.8608E+01	0.1020E+01
4	0.3000E-01	0.9542E+00	-0.8934E+01	0.1030E+01
5	0.4000E-01	0.9310E+00	-0.9277E+01	0.1041E+01
6	0.5000E-01	0.9033E+00	-0.9636E+01	0.1051E+01
7	0.6000E-01	0.8705E+00	-0.1001E+02	0.1062E+01
8	0.7000E-01	0.8324E+00	-0.1041E+02	0.1073E+01
9	0.8000E-01	0.7884E+00	-0.1082E+02	0.1083E+01
10	0.9000E-01	0.7380E+00	-0.1126E+02	0.1094E+01
11	0.1000E+00	0.6806E+00	-0.1171E+02	0.1105E+01
12	0.1100E+00	0.6157E+00	-0.1219E+02	0.1116E+01
13	0.1200E+00	0.5427E+00	-0.1270E+02	0.1127E+01
14	0.1300E+00	0.4609E+00	-0.1323E+02	0.1139E+01
15	0.1400E+00	0.3695E+00	-0.1379E+02	0.1150E+01
16	0.1500E+00	0.2679E+00	-0.1437E+02	0.1162E+01
17	0.1600E+00	0.1551E+00	-0.1499E+02	0.1174E+01
18	0.1700E+00	0.3031E-01	-0.1563E+02	0.1185E+01
19	0.1800E+00	-0.1074E+00	-0.1631E+02	0.1197E+01
20	0.1900E+00	-0.2591E+00	-0.1703E+02	0.1209E+01
21	0.2000E+00	-0.4259E+00	-0.1778E+02	0.1221E+01
22	0.2100E+00	-0.6088E+00	-0.1857E+02	0.1234E+01
23	0.2200E+00	-0.8092E+00	-0.1940E+02	0.1246E+01
24	0.2300E+00	-0.1028E+01	-0.2028E+02	0.1259E+01
25	0.2400E+00	-0.1268E+01	-0.2120E+02	0.1271E+01
26	0.2500E+00	-0.1529E+01	-0.2217E+02	0.1284E+01
27	0.2600E+00	-0.1813E+01	-0.2319E+02	0.1297E+01
28	0.2700E+00	-0.2123E+01	-0.2427E+02	0.1310E+01
29	0.2800E+00	-0.2459E+01	-0.2540E+02	0.1323E+01
30	0.2900E+00	-0.2824E+01	-0.2659E+02	0.1336E+01
31	0.3000E+00	-0.3221E+01	-0.2785E+02	0.1350E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.5158E+01, \tilde{a}_{12} = 0.1045E+01, \tilde{b}_{11} = 0.2033E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= 0.1073E+01, \tilde{a}_{22} = 0.5128E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1025E+02. \end{aligned} \quad (7.2B)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 08$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.5158E+01, \tilde{a}_{12} = 0.1045E+01, \tilde{b}_{11} = 0.2033E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= 0.1073E+01, \tilde{a}_{22} = 0.5128E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1025E+02, (r = 30). \end{aligned} \quad (7.3B)$$

Вариант 8В

Таблица 8.1В – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	-0.5000E+01	-0.5000E+01
2	0.1000E-01	-0.2552E-03	-0.5158E-01	-0.5010E+01	-0.5010E+01
3	0.2000E-01	-0.1042E-02	-0.1064E+00	-0.5019E+01	-0.5019E+01
4	0.3000E-01	-0.2395E-02	-0.1647E+00	-0.5028E+01	-0.5028E+01
5	0.4000E-01	-0.4348E-02	-0.2266E+00	-0.5036E+01	-0.5036E+01
6	0.5000E-01	-0.6939E-02	-0.2922E+00	-0.5044E+01	-0.5044E+01
7	0.6000E-01	-0.1021E-01	-0.3619E+00	-0.5051E+01	-0.5051E+01
8	0.7000E-01	-0.1419E-01	-0.4357E+00	-0.5058E+01	-0.5058E+01
9	0.8000E-01	-0.1893E-01	-0.5140E+00	-0.5064E+01	-0.5064E+01
10	0.9000E-01	-0.2448E-01	-0.5968E+00	-0.5070E+01	-0.5070E+01
11	0.1000E+00	-0.3089E-01	-0.6846E+00	-0.5075E+01	-0.5075E+01
12	0.1100E+00	-0.3819E-01	-0.7775E+00	-0.5080E+01	-0.5080E+01
13	0.1200E+00	-0.4646E-01	-0.8758E+00	-0.5084E+01	-0.5084E+01
14	0.1300E+00	-0.5573E-01	-0.9797E+00	-0.5087E+01	-0.5087E+01
15	0.1400E+00	-0.6607E-01	-0.1090E+01	-0.5091E+01	-0.5091E+01
16	0.1500E+00	-0.7754E-01	-0.1206E+01	-0.5093E+01	-0.5093E+01
17	0.1600E+00	-0.9021E-01	-0.1329E+01	-0.5095E+01	-0.5095E+01
18	0.1700E+00	-0.1041E+00	-0.1458E+01	-0.5097E+01	-0.5097E+01
19	0.1800E+00	-0.1194E+00	-0.1595E+01	-0.5098E+01	-0.5098E+01
20	0.1900E+00	-0.1361E+00	-0.1740E+01	-0.5099E+01	-0.5099E+01
21	0.2000E+00	-0.1542E+00	-0.1892E+01	-0.5099E+01	-0.5099E+01
22	0.2100E+00	-0.1739E+00	-0.2054E+01	-0.5099E+01	-0.5099E+01
23	0.2200E+00	-0.1953E+00	-0.2224E+01	-0.5098E+01	-0.5098E+01
24	0.2300E+00	-0.2184E+00	-0.2403E+01	-0.5096E+01	-0.5096E+01
25	0.2400E+00	-0.2434E+00	-0.2592E+01	-0.5094E+01	-0.5094E+01
26	0.2500E+00	-0.2703E+00	-0.2792E+01	-0.5092E+01	-0.5092E+01
27	0.2600E+00	-0.2993E+00	-0.3002E+01	-0.5089E+01	-0.5089E+01
28	0.2700E+00	-0.3304E+00	-0.3224E+01	-0.5086E+01	-0.5086E+01
29	0.2800E+00	-0.3638E+00	-0.3458E+01	-0.5082E+01	-0.5082E+01
30	0.2900E+00	-0.3996E+00	-0.3704E+01	-0.5077E+01	-0.5077E+01
31	0.3000E+00	-0.4379E+00	-0.3964E+01	-0.5072E+01	-0.5072E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.2541E-01, \tilde{a}_{12} = 0.1031E+01, \tilde{b}_{11} = 0.5105E-02, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.5124E+01, \tilde{a}_{22} = 0.6153E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1032E+01. \end{aligned} \quad (8.2B)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E-06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.2658E-01, \tilde{a}_{12} = 0.1031E+01, \tilde{b}_{11} = 0.5097E-02, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.5124E+01, \tilde{a}_{22} = 0.6153E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1032E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (8.3B)$$

Вариант 9В

Таблица 9.1В – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.1000E+01	0.0000E+00	0.1000E+01	-0.1000E+01
2	0.1047E+00	0.1204E+01	-0.3083E+00	0.9945E+00	-0.7853E+00
3	0.2094E+00	0.1395E+01	-0.6034E+00	0.9781E+00	-0.5608E+00
4	0.3142E+00	0.1574E+01	-0.8832E+00	0.9511E+00	-0.3279E+00
5	0.4189E+00	0.1739E+01	-0.1146E+01	0.9135E+00	-0.8793E-01
6	0.5236E+00	0.1890E+01	-0.1390E+01	0.8660E+00	0.1576E+00
7	0.6283E+00	0.2025E+01	-0.1613E+01	0.8090E+00	0.4071E+00
8	0.7330E+00	0.2145E+01	-0.1814E+01	0.7431E+00	0.6590E+00
9	0.8378E+00	0.2250E+01	-0.1993E+01	0.6691E+00	0.9118E+00
10	0.9425E+00	0.2339E+01	-0.2148E+01	0.5878E+00	0.1164E+01
11	0.1047E+01	0.2413E+01	-0.2279E+01	0.5000E+00	0.1413E+01
12	0.1152E+01	0.2472E+01	-0.2386E+01	0.4067E+00	0.1659E+01
13	0.1257E+01	0.2517E+01	-0.2468E+01	0.3090E+00	0.1899E+01
14	0.1361E+01	0.2547E+01	-0.2526E+01	0.2079E+00	0.2132E+01
15	0.1466E+01	0.2565E+01	-0.2560E+01	0.1045E+00	0.2356E+01
16	0.1571E+01	0.2571E+01	-0.2571E+01	0.2679E-07	0.2571E+01
17	0.1676E+01	0.2566E+01	-0.2560E+01	-0.1045E+00	0.2775E+01
18	0.1780E+01	0.2550E+01	-0.2529E+01	-0.2079E+00	0.2966E+01
19	0.1885E+01	0.2527E+01	-0.2478E+01	-0.3090E+00	0.3145E+01
20	0.1990E+01	0.2496E+01	-0.2410E+01	-0.4067E+00	0.3310E+01
21	0.2094E+01	0.2460E+01	-0.2326E+01	-0.5000E+00	0.3460E+01
22	0.2199E+01	0.2420E+01	-0.2229E+01	-0.5878E+00	0.3596E+01
23	0.2304E+01	0.2378E+01	-0.2121E+01	-0.6691E+00	0.3716E+01
24	0.2409E+01	0.2335E+01	-0.2004E+01	-0.7431E+00	0.3821E+01
25	0.2513E+01	0.2292E+01	-0.1880E+01	-0.8090E+00	0.3910E+01
26	0.2618E+01	0.2252E+01	-0.1752E+01	-0.8660E+00	0.3984E+01
27	0.2723E+01	0.2216E+01	-0.1623E+01	-0.9135E+00	0.4043E+01
28	0.2827E+01	0.2185E+01	-0.1494E+01	-0.9511E+00	0.4088E+01
29	0.2932E+01	0.2162E+01	-0.1370E+01	-0.9781E+00	0.4118E+01
30	0.3037E+01	0.2147E+01	-0.1251E+01	-0.9945E+00	0.4136E+01
31	0.3142E+01	0.2142E+01	-0.1142E+01	-0.1000E+01	0.4142E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.1010E+01, \tilde{a}_{12} = 0.9987E+00, \tilde{b}_{11} = 0.5264E - 01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1987E+01, \tilde{a}_{22} = -0.1060E+01, \tilde{b}_{22} = 0.9667E+00. \end{aligned} \quad (9.2B)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.1010E+01, \tilde{a}_{12} = 0.1029E+01, \tilde{b}_{11} = 0.9406E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1987E+01, \tilde{a}_{22} = -0.1060E+01, \tilde{b}_{22} = 0.9667E+00, (r = 30). \end{aligned} \quad (9.3B)$$

Вариант 10В

Таблица 10.1В – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	-0.1000E+01	-0.2000E+01	0.6000E+01	0.6000E+01
2	0.1000E+00	-0.9560E+00	-0.1685E+01	0.5700E+01	0.5700E+01
3	0.2000E+00	-0.8280E+00	-0.1344E+01	0.5400E+01	0.5400E+01
4	0.3000E+00	-0.6220E+00	-0.9785E+00	0.5100E+01	0.5100E+01
5	0.4000E+00	-0.3440E+00	-0.5920E+00	0.4800E+01	0.4800E+01
6	0.5000E+00	0.0000E+00	-0.1875E+00	0.4500E+01	0.4500E+01
7	0.6000E+00	0.4040E+00	0.2320E+00	0.4200E+01	0.4200E+01
8	0.7000E+00	0.8620E+00	0.6635E+00	0.3900E+01	0.3900E+01
9	0.8000E+00	0.1368E+01	0.1104E+01	0.3600E+01	0.3600E+01
10	0.9000E+00	0.1916E+01	0.1551E+01	0.3300E+01	0.3300E+01
11	0.1000E+01	0.2500E+01	0.2000E+01	0.3000E+01	0.3000E+01
12	0.1100E+01	0.3114E+01	0.2450E+01	0.2700E+01	0.2700E+01
13	0.1200E+01	0.3752E+01	0.2896E+01	0.2400E+01	0.2400E+01
14	0.1300E+01	0.4408E+01	0.3337E+01	0.2100E+01	0.2100E+01
15	0.1400E+01	0.5076E+01	0.3768E+01	0.1800E+01	0.1800E+01
16	0.1500E+01	0.5750E+01	0.4188E+01	0.1500E+01	0.1500E+01
17	0.1600E+01	0.6424E+01	0.4592E+01	0.1200E+01	0.1200E+01
18	0.1700E+01	0.7092E+01	0.4979E+01	0.9000E+00	0.9000E+00
19	0.1800E+01	0.7748E+01	0.5344E+01	0.6000E+00	0.6000E+00
20	0.1900E+01	0.8386E+01	0.5686E+01	0.3000E+00	0.3000E+00
21	0.2000E+01	0.9000E+01	0.6000E+01	0.0000E+00	0.0000E+00
22	0.2100E+01	0.9584E+01	0.6285E+01	-0.3000E+00	-0.3000E+00
23	0.2200E+01	0.1013E+02	0.6536E+01	-0.6000E+00	-0.6000E+00
24	0.2300E+01	0.1064E+02	0.6751E+01	-0.9000E+00	-0.9000E+00
25	0.2400E+01	0.1110E+02	0.6928E+01	-0.1200E+01	-0.1200E+01
26	0.2500E+01	0.1150E+02	0.7062E+01	-0.1500E+01	-0.1500E+01
27	0.2600E+01	0.1184E+02	0.7152E+01	-0.1800E+01	-0.1800E+01
28	0.2700E+01	0.1212E+02	0.7194E+01	-0.2100E+01	-0.2100E+01
29	0.2800E+01	0.1233E+02	0.7184E+01	-0.2400E+01	-0.2400E+01
30	0.2900E+01	0.1246E+02	0.7120E+01	-0.2700E+01	-0.2700E+01
31	0.3000E+01	0.1250E+02	0.7000E+01	-0.3000E+01	-0.3000E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.2015E+01, \tilde{a}_{12} = 0.3994E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1066E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1014E+01, \tilde{a}_{22} = 0.1994E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1017E+01. \end{aligned} \quad (10.2B)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.2015E+01, \tilde{a}_{12} = 0.3994E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1066E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1014E+01, \tilde{a}_{22} = 0.1994E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1017E+01. (r = 30). \end{aligned} \quad (10.3B)$$

Вариант 11В

Таблица 11.1В – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	-0.2000E+01	0.1000E+01	0.1000E+01	0.0000E+00
2	0.8333E-01	-0.1997E+01	0.1084E+01	0.9965E+00	0.9365E-01
3	0.1667E+00	-0.1986E+01	0.1168E+01	0.9861E+00	0.2075E+00
4	0.2500E+00	-0.1968E+01	0.1255E+01	0.9689E+00	0.3410E+00
5	0.3333E+00	-0.1943E+01	0.1344E+01	0.9450E+00	0.4933E+00
6	0.4167E+00	-0.1911E+01	0.1437E+01	0.9144E+00	0.6639E+00
7	0.5000E+00	-0.1870E+01	0.1534E+01	0.8776E+00	0.8518E+00
8	0.5833E+00	-0.1820E+01	0.1635E+01	0.8346E+00	0.1056E+01
9	0.6667E+00	-0.1761E+01	0.1741E+01	0.7859E+00	0.1277E+01
10	0.7500E+00	-0.1692E+01	0.1851E+01	0.7317E+00	0.1512E+01
11	0.8333E+00	-0.1613E+01	0.1966E+01	0.6724E+00	0.1762E+01
12	0.9167E+00	-0.1521E+01	0.2086E+01	0.6085E+00	0.2025E+01
13	0.1000E+01	-0.1417E+01	0.2210E+01	0.5403E+00	0.2301E+01
14	0.1083E+01	-0.1298E+01	0.2337E+01	0.4684E+00	0.2589E+01
15	0.1167E+01	-0.1165E+01	0.2468E+01	0.3932E+00	0.2887E+01
16	0.1250E+01	-0.1015E+01	0.2601E+01	0.3153E+00	0.3196E+01
17	0.1333E+01	-0.8477E+00	0.2736E+01	0.2352E+00	0.3514E+01
18	0.1417E+01	-0.6609E+00	0.2872E+01	0.1535E+00	0.3842E+01
19	0.1500E+01	-0.4531E+00	0.3007E+01	0.7074E-01	0.4177E+01
20	0.1583E+01	-0.2228E+00	0.3142E+01	-0.1254E-01	0.4519E+01
21	0.1667E+01	0.3189E-01	0.3274E+01	-0.9572E-01	0.4869E+01
22	0.1750E+01	0.3128E+00	0.3402E+01	-0.1782E+00	0.5225E+01
23	0.1833E+01	0.6220E+00	0.3525E+01	-0.2595E+00	0.5586E+01
24	0.1917E+01	0.9614E+00	0.3641E+01	-0.3390E+00	0.5953E+01
25	0.2000E+01	0.1333E+01	0.3749E+01	-0.4161E+00	0.6325E+01
26	0.2083E+01	0.1740E+01	0.3848E+01	-0.4904E+00	0.6702E+01
27	0.2167E+01	0.2184E+01	0.3935E+01	-0.5612E+00	0.7083E+01
28	0.2250E+01	0.2667E+01	0.4008E+01	-0.6282E+00	0.7469E+01
29	0.2333E+01	0.3192E+01	0.4066E+01	-0.6908E+00	0.7858E+01
30	0.2417E+01	0.3763E+01	0.4107E+01	-0.7485E+00	0.8252E+01
31	0.2500E+01	0.4380E+01	0.4129E+01	-0.8011E+00	0.8650E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.1033E+01, \tilde{a}_{12} = 0.1050E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1048E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1063E+01, \tilde{a}_{22} = -0.1099E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1063E+01. \end{aligned} \quad (11.2B)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.1033E+01, \tilde{a}_{12} = 0.1050E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1048E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1063E+01, \tilde{a}_{22} = -0.1099E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1063E+01. (r = 30). \end{aligned} \quad (11.3B)$$

Вариант 12В

Таблица 12.1В – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.2000E+01	-0.4000E+01	0.0000E+00	0.0000E+00
2	0.1047E+00	0.2011E+01	-0.3828E+01	0.1097E-01	-0.1120E+00
3	0.2094E+00	0.2042E+01	-0.3729E+01	0.4386E-01	-0.2387E+00
4	0.3142E+00	0.2094E+01	-0.3698E+01	0.9870E-01	-0.3800E+00
5	0.4189E+00	0.2166E+01	-0.3733E+01	0.1755E+00	-0.5359E+00
6	0.5236E+00	0.2256E+01	-0.3831E+01	0.2742E+00	-0.7064E+00
7	0.6283E+00	0.2366E+01	-0.3989E+01	0.3948E+00	-0.8915E+00
8	0.7330E+00	0.2494E+01	-0.4206E+01	0.5373E+00	-0.1091E+01
9	0.8378E+00	0.2642E+01	-0.4480E+01	0.7018E+00	-0.1306E+01
10	0.9425E+00	0.2810E+01	-0.4810E+01	0.8883E+00	-0.1535E+01
11	0.1047E+01	0.2998E+01	-0.5195E+01	0.1097E+01	-0.1778E+01
12	0.1152E+01	0.3208E+01	-0.5635E+01	0.1327E+01	-0.2037E+01
13	0.1257E+01	0.3440E+01	-0.6130E+01	0.1579E+01	-0.2309E+01
14	0.1361E+01	0.3697E+01	-0.6680E+01	0.1853E+01	-0.2597E+01
15	0.1466E+01	0.3978E+01	-0.7286E+01	0.2149E+01	-0.2899E+01
16	0.1571E+01	0.4288E+01	-0.7950E+01	0.2467E+01	-0.3216E+01
17	0.1676E+01	0.4627E+01	-0.8672E+01	0.2807E+01	-0.3547E+01
18	0.1780E+01	0.4999E+01	-0.9454E+01	0.3169E+01	-0.3893E+01
19	0.1885E+01	0.5406E+01	-0.1030E+02	0.3553E+01	-0.4254E+01
20	0.1990E+01	0.5851E+01	-0.1121E+02	0.3959E+01	-0.4629E+01
21	0.2094E+01	0.6339E+01	-0.1219E+02	0.4386E+01	-0.5019E+01
22	0.2199E+01	0.6874E+01	-0.1324E+02	0.4836E+01	-0.5423E+01
23	0.2304E+01	0.7460E+01	-0.1437E+02	0.5308E+01	-0.5842E+01
24	0.2409E+01	0.8102E+01	-0.1558E+02	0.5801E+01	-0.6276E+01
25	0.2513E+01	0.8807E+01	-0.1688E+02	0.6317E+01	-0.6724E+01
26	0.2618E+01	0.9582E+01	-0.1827E+02	0.6854E+01	-0.7187E+01
27	0.2723E+01	0.1043E+02	-0.1977E+02	0.7413E+01	-0.7665E+01
28	0.2827E+01	0.1137E+02	-0.2137E+02	0.7994E+01	-0.8157E+01
29	0.2932E+01	0.1240E+02	-0.2309E+02	0.8598E+01	-0.8664E+01
30	0.3037E+01	0.1353E+02	-0.2493E+02	0.9223E+01	-0.9185E+01
31	0.3142E+01	0.1478E+02	-0.2692E+02	0.9870E+01	-0.9721E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.2052E+01, \tilde{a}_{12} = 0.1008E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1003E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.3122E+01, \tilde{a}_{22} = -0.1976E+01, \tilde{b}_{22} = 0.2847E+01. \end{aligned} \quad (12.2B)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.2052E+01, \tilde{a}_{12} = 0.1008E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1003E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.3122E+01, \tilde{a}_{22} = -0.1976E+01, \tilde{b}_{22} = 0.2847E+01. (r = 30). \end{aligned} \quad (12.3B)$$

Вариант 13В

Таблица 13.1В – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.1333E+01	-0.2000E+01	0.0000E+00	0.3333E+00
2	0.5236E-01	0.1366E+01	-0.2158E+01	0.2742E-02	0.2796E+00
3	0.1047E+00	0.1394E+01	-0.2318E+01	0.1097E-01	0.2231E+00
4	0.1571E+00	0.1416E+01	-0.2478E+01	0.2467E-01	0.1637E+00
5	0.2094E+00	0.1433E+01	-0.2637E+01	0.4386E-01	0.1015E+00
6	0.2618E+00	0.1445E+01	-0.2794E+01	0.6854E-01	0.3633E-01
7	0.3142E+00	0.1450E+01	-0.2948E+01	0.9870E-01	-0.3177E-01
8	0.3665E+00	0.1450E+01	-0.3097E+01	0.1343E+00	-0.1029E+00
9	0.4189E+00	0.1444E+01	-0.3242E+01	0.1755E+00	-0.1770E+00
10	0.4712E+00	0.1431E+01	-0.3381E+01	0.2221E+00	-0.2541E+00
11	0.5236E+00	0.1413E+01	-0.3513E+01	0.2742E+00	-0.3344E+00
12	0.5760E+00	0.1388E+01	-0.3638E+01	0.3317E+00	-0.4177E+00
13	0.6283E+00	0.1357E+01	-0.3754E+01	0.3948E+00	-0.5042E+00
14	0.6807E+00	0.1320E+01	-0.3862E+01	0.4633E+00	-0.5939E+00
15	0.7330E+00	0.1278E+01	-0.3961E+01	0.5373E+00	-0.6868E+00
16	0.7854E+00	0.1230E+01	-0.4051E+01	0.6169E+00	-0.7829E+00
17	0.8378E+00	0.1176E+01	-0.4131E+01	0.7018E+00	-0.8822E+00
18	0.8901E+00	0.1117E+01	-0.4202E+01	0.7923E+00	-0.9847E+00
19	0.9425E+00	0.1053E+01	-0.4262E+01	0.8883E+00	-0.1091E+01
20	0.9948E+00	0.9840E+00	-0.4313E+01	0.9897E+00	-0.1200E+01
21	0.1047E+01	0.9109E+00	-0.4354E+01	0.1097E+01	-0.1312E+01
22	0.1100E+01	0.8338E+00	-0.4386E+01	0.1209E+01	-0.1428E+01
23	0.1152E+01	0.7530E+00	-0.4408E+01	0.1327E+01	-0.1547E+01
24	0.1204E+01	0.6690E+00	-0.4422E+01	0.1450E+01	-0.1670E+01
25	0.1257E+01	0.5821E+00	-0.4427E+01	0.1579E+01	-0.1796E+01
26	0.1309E+01	0.4928E+00	-0.4425E+01	0.1713E+01	-0.1925E+01
27	0.1361E+01	0.4015E+00	-0.4415E+01	0.1853E+01	-0.2058E+01
28	0.1414E+01	0.3087E+00	-0.4399E+01	0.1999E+01	-0.2194E+01
29	0.1466E+01	0.2150E+00	-0.4377E+01	0.2149E+01	-0.2333E+01
30	0.1518E+01	0.1206E+00	-0.4351E+01	0.2306E+01	-0.2476E+01
31	0.1571E+01	0.2623E-01	-0.4320E+01	0.2467E+01	-0.2623E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.1979E+01, \tilde{a}_{12} = 0.1009E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1020E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.6341E+01, \tilde{a}_{22} = -0.2182E+01, \tilde{b}_{22} = 0.3295E+01. \end{aligned} \quad (13.2B)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.1979E+01, \tilde{a}_{12} = 0.1009E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1020E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.6341E+01, \tilde{a}_{22} = -0.2182E+01, \tilde{b}_{22} = 0.3295E+01. (r = 30). \end{aligned} \quad (13.3B)$$

Вариант 14В

Таблица 14.1В – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.1800E+01	-0.3498E+01	0.0000E+00	0.0000E+00
2	0.1047E+00	0.2050E+01	-0.4255E+01	0.1097E-01	-0.4222E-01
3	0.2094E+00	0.2306E+01	-0.5069E+01	0.4386E-01	-0.9906E-01
4	0.3142E+00	0.2566E+01	-0.5936E+01	0.9870E-01	-0.1705E+00
5	0.4189E+00	0.2830E+01	-0.6854E+01	0.1755E+00	-0.2566E+00
6	0.5236E+00	0.3093E+01	-0.7818E+01	0.2742E+00	-0.3573E+00
7	0.6283E+00	0.3354E+01	-0.8822E+01	0.3948E+00	-0.4726E+00
8	0.7330E+00	0.3610E+01	-0.9861E+01	0.5373E+00	-0.6026E+00
9	0.8378E+00	0.3857E+01	-0.1093E+02	0.7018E+00	-0.7471E+00
10	0.9425E+00	0.4093E+01	-0.1201E+02	0.8883E+00	-0.9063E+00
11	0.1047E+01	0.4312E+01	-0.1311E+02	0.1097E+01	-0.1080E+01
12	0.1152E+01	0.4512E+01	-0.1420E+02	0.1327E+01	-0.1269E+01
13	0.1257E+01	0.4686E+01	-0.1527E+02	0.1579E+01	-0.1472E+01
14	0.1361E+01	0.4832E+01	-0.1633E+02	0.1853E+01	-0.1689E+01
15	0.1466E+01	0.4942E+01	-0.1734E+02	0.2149E+01	-0.1922E+01
16	0.1571E+01	0.5014E+01	-0.1829E+02	0.2467E+01	-0.2169E+01
17	0.1676E+01	0.5040E+01	-0.1917E+02	0.2807E+01	-0.2430E+01
18	0.1780E+01	0.5015E+01	-0.1996E+02	0.3169E+01	-0.2706E+01
19	0.1885E+01	0.4935E+01	-0.2064E+02	0.3553E+01	-0.2997E+01
20	0.1990E+01	0.4793E+01	-0.2120E+02	0.3959E+01	-0.3302E+01
21	0.2094E+01	0.4585E+01	-0.2161E+02	0.4386E+01	-0.3622E+01
22	0.2199E+01	0.4305E+01	-0.2186E+02	0.4836E+01	-0.3957E+01
23	0.2304E+01	0.3948E+01	-0.2192E+02	0.5308E+01	-0.4306E+01
24	0.2409E+01	0.3511E+01	-0.2178E+02	0.5801E+01	-0.4670E+01
25	0.2513E+01	0.2990E+01	-0.2143E+02	0.6317E+01	-0.5049E+01
26	0.2618E+01	0.2381E+01	-0.2083E+02	0.6854E+01	-0.5442E+01
27	0.2723E+01	0.1683E+01	-0.1998E+02	0.7413E+01	-0.5850E+01
28	0.2827E+01	0.8944E+00	-0.1886E+02	0.7994E+01	-0.6272E+01
29	0.2932E+01	0.1558E-01	-0.1747E+02	0.8598E+01	-0.6709E+01
30	0.3037E+01	-0.9520E+00	-0.1578E+02	0.9223E+01	-0.7161E+01
31	0.3142E+01	-0.2005E+01	-0.1381E+02	0.9870E+01	-0.7627E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.3402E+01, \tilde{a}_{12} = 0.1065E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1082E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.8339E+01, \tilde{a}_{22} = -0.2227E+01, \tilde{b}_{22} = 0.3384E+01. \end{aligned} \quad (14.2B)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.3402E+01, \tilde{a}_{12} = 0.1065E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1082E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.8339E+01, \tilde{a}_{22} = -0.2227E+01, \tilde{b}_{22} = 0.3384E+01. (r = 30). \end{aligned} \quad (14.3B)$$

Вариант 15В

Таблица 15.1В – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.1000E+01	0.4861E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
2	0.5236E-01	0.1123E+01	-0.3963E-01	0.2742E-02	-0.1929E-01
3	0.1047E+00	0.1231E+01	-0.5679E+00	0.1097E-01	-0.4228E-01
4	0.1571E+00	0.1322E+01	-0.1092E+01	0.2467E-01	-0.6902E-01
5	0.2094E+00	0.1396E+01	-0.1605E+01	0.4386E-01	-0.9957E-01
6	0.2618E+00	0.1451E+01	-0.2100E+01	0.6854E-01	-0.1340E+00
7	0.3142E+00	0.1487E+01	-0.2572E+01	0.9870E-01	-0.1722E+00
8	0.3665E+00	0.1503E+01	-0.3015E+01	0.1343E+00	-0.2144E+00
9	0.4189E+00	0.1500E+01	-0.3423E+01	0.1755E+00	-0.2606E+00
10	0.4712E+00	0.1477E+01	-0.3792E+01	0.2221E+00	-0.3109E+00
11	0.5236E+00	0.1435E+01	-0.4117E+01	0.2742E+00	-0.3652E+00
12	0.5760E+00	0.1376E+01	-0.4396E+01	0.3317E+00	-0.4236E+00
13	0.6283E+00	0.1298E+01	-0.4625E+01	0.3948E+00	-0.4861E+00
14	0.6807E+00	0.1205E+01	-0.4803E+01	0.4633E+00	-0.5529E+00
15	0.7330E+00	0.1097E+01	-0.4928E+01	0.5373E+00	-0.6239E+00
16	0.7854E+00	0.9753E+00	-0.5001E+01	0.6169E+00	-0.6991E+00
17	0.8378E+00	0.8425E+00	-0.5020E+01	0.7018E+00	-0.7787E+00
18	0.8901E+00	0.7002E+00	-0.4988E+01	0.7923E+00	-0.8626E+00
19	0.9425E+00	0.5504E+00	-0.4907E+01	0.8883E+00	-0.9508E+00
20	0.9948E+00	0.3953E+00	-0.4779E+01	0.9897E+00	-0.1043E+01
21	0.1047E+01	0.2371E+00	-0.4608E+01	0.1097E+01	-0.1141E+01
22	0.1100E+01	0.7806E-01	-0.4397E+01	0.1209E+01	-0.1242E+01
23	0.1152E+01	-0.7964E-01	-0.4152E+01	0.1327E+01	-0.1348E+01
24	0.1204E+01	-0.2338E+00	-0.3878E+01	0.1450E+01	-0.1459E+01
25	0.1257E+01	-0.3821E+00	-0.3580E+01	0.1579E+01	-0.1573E+01
26	0.1309E+01	-0.5226E+00	-0.3264E+01	0.1713E+01	-0.1693E+01
27	0.1361E+01	-0.6534E+00	-0.2938E+01	0.1853E+01	-0.1817E+01
28	0.1414E+01	-0.7725E+00	-0.2606E+01	0.1999E+01	-0.1946E+01
29	0.1466E+01	-0.8783E+00	-0.2277E+01	0.2149E+01	-0.2079E+01
30	0.1518E+01	-0.9693E+00	-0.1957E+01	0.2306E+01	-0.2217E+01
31	0.1571E+01	-0.1044E+01	-0.1652E+01	0.2467E+01	-0.2359E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.1866E+01, \tilde{a}_{12} = 0.9954E+00, \tilde{b}_{11} = 0.1008E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.8998E+01, \tilde{a}_{22} = -0.2126E+01, \tilde{b}_{22} = 0.3191E+01. \end{aligned} \quad (15.2B)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.1866E+01, \tilde{a}_{12} = 0.9954E+00, \tilde{b}_{11} = 0.1008E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.8998E+01, \tilde{a}_{22} = -0.2126E+01, \tilde{b}_{22} = 0.3191E+01. (r = 30). \end{aligned} \quad (15.3B)$$

Вариант 16В

Таблица 16.1В – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.2000E+01	0.3000E+01	0.2000E+01	0.0000E+00
2	0.5236E-01	0.2146E+01	0.2736E+01	0.1989E+01	0.1045E+00
3	0.1047E+00	0.2270E+01	0.2467E+01	0.1956E+01	0.2079E+00
4	0.1571E+00	0.2372E+01	0.2197E+01	0.1902E+01	0.3090E+00
5	0.2094E+00	0.2451E+01	0.1925E+01	0.1827E+01	0.4067E+00
6	0.2618E+00	0.2508E+01	0.1654E+01	0.1732E+01	0.5000E+00
7	0.3142E+00	0.2543E+01	0.1385E+01	0.1618E+01	0.5878E+00
8	0.3665E+00	0.2556E+01	0.1120E+01	0.1486E+01	0.6691E+00
9	0.4189E+00	0.2548E+01	0.8603E+00	0.1338E+01	0.7431E+00
10	0.4712E+00	0.2520E+01	0.6078E+00	0.1176E+01	0.8090E+00
11	0.5236E+00	0.2471E+01	0.3638E+00	0.1000E+01	0.8660E+00
12	0.5760E+00	0.2404E+01	0.1300E+00	0.8135E+00	0.9135E+00
13	0.6283E+00	0.2319E+01	-0.9241E-01	0.6180E+00	0.9511E+00
14	0.6807E+00	0.2217E+01	-0.3019E+00	0.4158E+00	0.9781E+00
15	0.7330E+00	0.2099E+01	-0.4974E+00	0.2091E+00	0.9945E+00
16	0.7854E+00	0.1967E+01	-0.6776E+00	0.5359E-07	0.1000E+01
17	0.8378E+00	0.1823E+01	-0.8416E+00	-0.2091E+00	0.9945E+00
18	0.8901E+00	0.1667E+01	-0.9884E+00	-0.4158E+00	0.9781E+00
19	0.9425E+00	0.1502E+01	-0.1117E+01	-0.6180E+00	0.9511E+00
20	0.9948E+00	0.1328E+01	-0.1228E+01	-0.8135E+00	0.9135E+00
21	0.1047E+01	0.1149E+01	-0.1319E+01	-0.1000E+01	0.8660E+00
22	0.1100E+01	0.9659E+00	-0.1391E+01	-0.1176E+01	0.8090E+00
23	0.1152E+01	0.7800E+00	-0.1444E+01	-0.1338E+01	0.7431E+00
24	0.1204E+01	0.5934E+00	-0.1477E+01	-0.1486E+01	0.6691E+00
25	0.1257E+01	0.4081E+00	-0.1492E+01	-0.1618E+01	0.5878E+00
26	0.1309E+01	0.2257E+00	-0.1487E+01	-0.1732E+01	0.5000E+00
27	0.1361E+01	0.4791E-01	-0.1464E+01	-0.1827E+01	0.4067E+00
28	0.1414E+01	-0.1235E+00	-0.1424E+01	-0.1902E+01	0.3090E+00
29	0.1466E+01	-0.2870E+00	-0.1367E+01	-0.1956E+01	0.2079E+00
30	0.1518E+01	-0.4410E+00	-0.1295E+01	-0.1989E+01	0.1045E+00
31	0.1571E+01	-0.5842E+00	-0.1208E+01	-0.2000E+01	0.5359E-07

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.1060E+01, \tilde{a}_{12} = 0.9949E+00, \tilde{b}_{11} = 0.9679E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.8584E+00, \tilde{a}_{22} = -0.1136E+01, \tilde{b}_{22} = -0.2200E+01. \end{aligned} \quad (16.2B)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.1060E+01, \tilde{a}_{12} = 0.9949E+00, \tilde{b}_{11} = 0.9679E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.8584E+00, \tilde{a}_{22} = -0.1136E+01, \tilde{b}_{22} = -0.2200E+01. (r = 30). \end{aligned} \quad (16.3B)$$

Вариант 17В

Таблица 17.1В – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.1200E+02	-0.7000E+01	0.7000E+01	0.7000E+01
2	0.1000E+00	0.1131E+02	-0.6800E+01	0.6510E+01	0.6510E+01
3	0.2000E+00	0.1064E+02	-0.6600E+01	0.6040E+01	0.6040E+01
4	0.3000E+00	0.9990E+01	-0.6400E+01	0.5590E+01	0.5590E+01
5	0.4000E+00	0.9360E+01	-0.6200E+01	0.5160E+01	0.5160E+01
6	0.5000E+00	0.8750E+01	-0.6000E+01	0.4750E+01	0.4750E+01
7	0.6000E+00	0.8160E+01	-0.5800E+01	0.4360E+01	0.4360E+01
8	0.7000E+00	0.7590E+01	-0.5600E+01	0.3990E+01	0.3990E+01
9	0.8000E+00	0.7040E+01	-0.5400E+01	0.3640E+01	0.3640E+01
10	0.9000E+00	0.6510E+01	-0.5200E+01	0.3310E+01	0.3310E+01
11	0.1000E+01	0.6000E+01	-0.5000E+01	0.3000E+01	0.3000E+01
12	0.1100E+01	0.5510E+01	-0.4800E+01	0.2710E+01	0.2710E+01
13	0.1200E+01	0.5040E+01	-0.4600E+01	0.2440E+01	0.2440E+01
14	0.1300E+01	0.4590E+01	-0.4400E+01	0.2190E+01	0.2190E+01
15	0.1400E+01	0.4160E+01	-0.4200E+01	0.1960E+01	0.1960E+01
16	0.1500E+01	0.3750E+01	-0.4000E+01	0.1750E+01	0.1750E+01
17	0.1600E+01	0.3360E+01	-0.3800E+01	0.1560E+01	0.1560E+01
18	0.1700E+01	0.2990E+01	-0.3600E+01	0.1390E+01	0.1390E+01
19	0.1800E+01	0.2640E+01	-0.3400E+01	0.1240E+01	0.1240E+01
20	0.1900E+01	0.2310E+01	-0.3200E+01	0.1110E+01	0.1110E+01
21	0.2000E+01	0.2000E+01	-0.3000E+01	0.1000E+01	0.1000E+01
22	0.2100E+01	0.1710E+01	-0.2800E+01	0.9100E+00	0.9100E+00
23	0.2200E+01	0.1440E+01	-0.2600E+01	0.8400E+00	0.8400E+00
24	0.2300E+01	0.1190E+01	-0.2400E+01	0.7900E+00	0.7900E+00
25	0.2400E+01	0.9600E+00	-0.2200E+01	0.7600E+00	0.7600E+00
26	0.2500E+01	0.7500E+00	-0.2000E+01	0.7500E+00	0.7500E+00
27	0.2600E+01	0.5600E+00	-0.1800E+01	0.7600E+00	0.7600E+00
28	0.2700E+01	0.3900E+00	-0.1600E+01	0.7900E+00	0.7900E+00
29	0.2800E+01	0.2400E+00	-0.1400E+01	0.8400E+00	0.8400E+00
30	0.2900E+01	0.1100E+00	-0.1200E+01	0.9100E+00	0.9100E+00
31	0.3000E+01	0.0000E+00	-0.1000E+01	0.1000E+01	0.1000E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.5000E - 01, \tilde{a}_{12} = 0.9500E+00, \tilde{b}_{11} = 0.5000E - 01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1000E+01, \tilde{a}_{22} = -0.1000E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1000E+01. \end{aligned} \quad (17.2B)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.5000E - 01, \tilde{a}_{12} = 0.9500E+00, \tilde{b}_{11} = 0.5000E - 01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1000E+01, \tilde{a}_{22} = -0.1000E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1000E+01. (r = 30). \end{aligned} \quad (17.3B)$$

Вариант 18В

Таблица 18.1В – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.7854E+00	0.2025E+01	-0.1610E+01	0.7071E+00	-0.3536E+00
2	0.8378E+00	0.1976E+01	-0.1717E+01	0.7431E+00	-0.2606E+00
3	0.8901E+00	0.1923E+01	-0.1816E+01	0.7771E+00	-0.1668E+00
4	0.9425E+00	0.1867E+01	-0.1906E+01	0.8090E+00	-0.7266E-01
5	0.9948E+00	0.1808E+01	-0.1988E+01	0.8387E+00	0.2171E-01
6	0.1047E+01	0.1747E+01	-0.2063E+01	0.8660E+00	0.1160E+00
7	0.1100E+01	0.1683E+01	-0.2130E+01	0.8910E+00	0.2100E+00
8	0.1152E+01	0.1617E+01	-0.2190E+01	0.9135E+00	0.3034E+00
9	0.1204E+01	0.1550E+01	-0.2243E+01	0.9336E+00	0.3960E+00
10	0.1257E+01	0.1480E+01	-0.2290E+01	0.9511E+00	0.4875E+00
11	0.1309E+01	0.1410E+01	-0.2331E+01	0.9659E+00	0.5777E+00
12	0.1361E+01	0.1337E+01	-0.2366E+01	0.9781E+00	0.6663E+00
13	0.1414E+01	0.1264E+01	-0.2395E+01	0.9877E+00	0.7530E+00
14	0.1466E+01	0.1190E+01	-0.2419E+01	0.9945E+00	0.8377E+00
15	0.1518E+01	0.1115E+01	-0.2438E+01	0.9986E+00	0.9201E+00
16	0.1571E+01	0.1039E+01	-0.2451E+01	0.1000E+01	0.1000E+01
17	0.1623E+01	0.9632E+00	-0.2460E+01	0.9986E+00	0.1077E+01
18	0.1676E+01	0.8865E+00	-0.2464E+01	0.9945E+00	0.1151E+01
19	0.1728E+01	0.8093E+00	-0.2464E+01	0.9877E+00	0.1222E+01
20	0.1780E+01	0.7319E+00	-0.2459E+01	0.9781E+00	0.1290E+01
21	0.1833E+01	0.6543E+00	-0.2449E+01	0.9659E+00	0.1354E+01
22	0.1885E+01	0.5766E+00	-0.2435E+01	0.9511E+00	0.1415E+01
23	0.1937E+01	0.4990E+00	-0.2417E+01	0.9336E+00	0.1471E+01
24	0.1990E+01	0.4214E+00	-0.2394E+01	0.9135E+00	0.1524E+01
25	0.2042E+01	0.3440E+00	-0.2367E+01	0.8910E+00	0.1572E+01
26	0.2094E+01	0.2669E+00	-0.2335E+01	0.8660E+00	0.1616E+01
27	0.2147E+01	0.1901E+00	-0.2300E+01	0.8387E+00	0.1656E+01
28	0.2199E+01	0.1139E+00	-0.2260E+01	0.8090E+00	0.1691E+01
29	0.2251E+01	0.3821E-01	-0.2216E+01	0.7771E+00	0.1721E+01
30	0.2304E+01	-0.3679E-01	-0.2168E+01	0.7431E+00	0.1747E+01
31	0.2356E+01	-0.1110E+00	-0.2117E+01	0.7071E+00	0.1768E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.2445E-01, \tilde{a}_{12} = 0.1031E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1096E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.2762E+01, \tilde{a}_{22} = -0.1816E+01, \tilde{b}_{22} = -0.1749E+01. \end{aligned} \quad (18.2B)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E-06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.2445E-01, \tilde{a}_{12} = 0.1031E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1096E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.2762E+01, \tilde{a}_{22} = -0.1816E+01, \tilde{b}_{22} = -0.1749E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (18.3B)$$

Вариант 19В

Таблица 19.1В – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.4750E+01	0.3500E+01	0.0000E+00	0.0000E+00
2	0.3491E-01	0.4722E+01	0.3397E+01	0.6045E-01	0.6045E-01
3	0.6981E-01	0.4673E+01	0.3279E+01	0.1037E+00	0.1037E+00
4	0.1047E+00	0.4603E+01	0.3146E+01	0.1318E+00	0.1318E+00
5	0.1396E+00	0.4511E+01	0.2999E+01	0.1468E+00	0.1468E+00
6	0.1745E+00	0.4399E+01	0.2838E+01	0.1504E+00	0.1504E+00
7	0.2094E+00	0.4265E+01	0.2663E+01	0.1443E+00	0.1443E+00
8	0.2443E+00	0.4110E+01	0.2475E+01	0.1301E+00	0.1301E+00
9	0.2793E+00	0.3935E+01	0.2275E+01	0.1091E+00	0.1091E+00
10	0.3142E+00	0.3740E+01	0.2062E+01	0.8262E-01	0.8262E-01
11	0.3491E+00	0.3526E+01	0.1839E+01	0.5187E-01	0.5187E-01
12	0.3840E+00	0.3294E+01	0.1606E+01	0.1794E-01	0.1794E-01
13	0.4189E+00	0.3045E+01	0.1364E+01	-0.1818E-01	-0.1818E-01
14	0.4538E+00	0.2779E+01	0.1113E+01	-0.5560E-01	-0.5560E-01
15	0.4887E+00	0.2499E+01	0.8562E+00	-0.9347E-01	-0.9347E-01
16	0.5236E+00	0.2205E+01	0.5936E+00	-0.1311E+00	-0.1311E+00
17	0.5585E+00	0.1898E+01	0.3266E+00	-0.1677E+00	-0.1677E+00
18	0.5934E+00	0.1581E+01	0.5651E-01	-0.2028E+00	-0.2028E+00
19	0.6283E+00	0.1254E+01	-0.2153E+00	-0.2358E+00	-0.2358E+00
20	0.6632E+00	0.9193E+00	-0.4874E+00	-0.2662E+00	-0.2662E+00
21	0.6981E+00	0.5786E+00	-0.7584E+00	-0.2936E+00	-0.2936E+00
22	0.7330E+00	0.2335E+00	-0.1027E+01	-0.3177E+00	-0.3177E+00
23	0.7679E+00	-0.1144E+00	-0.1292E+01	-0.3381E+00	-0.3381E+00
24	0.8029E+00	-0.4631E+00	-0.1551E+01	-0.3547E+00	-0.3547E+00
25	0.8378E+00	-0.8110E+00	-0.1804E+01	-0.3672E+00	-0.3672E+00
26	0.8727E+00	-0.1156E+01	-0.2049E+01	-0.3754E+00	-0.3754E+00
27	0.9076E+00	-0.1497E+01	-0.2285E+01	-0.3792E+00	-0.3792E+00
28	0.9425E+00	-0.1831E+01	-0.2510E+01	-0.3786E+00	-0.3786E+00
29	0.9774E+00	-0.2157E+01	-0.2723E+01	-0.3736E+00	-0.3736E+00
30	0.1012E+01	-0.2474E+01	-0.2923E+01	-0.3641E+00	-0.3641E+00
31	0.1047E+01	-0.2779E+01	-0.3109E+01	-0.3502E+00	-0.3502E+00

Точное решение

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.6088E+01, \tilde{a}_{12} = 0.8034E+01, \tilde{b}_{11} = 0.9083E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.5021E+01, \tilde{a}_{22} = 0.5968E+01, \tilde{b}_{22} = 0.8773E+00. \end{aligned} \quad (19.2B)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.6088E+01, \tilde{a}_{12} = 0.8034E+01, \tilde{b}_{11} = 0.9083E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.5021E+01, \tilde{a}_{22} = 0.5968E+01, \tilde{b}_{22} = 0.8773E+00, (r = 30). \end{aligned} \quad (19.3B)$$

Вариант 20В

Таблица 20.1В – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.5222E+01	0.4111E+01	-0.3000E+01	-0.3000E+01
2	0.2618E-01	0.5023E+01	0.3838E+01	-0.2846E+01	-0.2846E+01
3	0.5236E-01	0.4793E+01	0.3543E+01	-0.2695E+01	-0.2695E+01
4	0.7854E-01	0.4534E+01	0.3229E+01	-0.2545E+01	-0.2545E+01
5	0.1047E+00	0.4247E+01	0.2896E+01	-0.2394E+01	-0.2394E+01
6	0.1309E+00	0.3934E+01	0.2548E+01	-0.2241E+01	-0.2241E+01
7	0.1571E+00	0.3599E+01	0.2187E+01	-0.2085E+01	-0.2085E+01
8	0.1833E+00	0.3242E+01	0.1816E+01	-0.1923E+01	-0.1923E+01
9	0.2094E+00	0.2867E+01	0.1436E+01	-0.1757E+01	-0.1757E+01
10	0.2356E+00	0.2477E+01	0.1050E+01	-0.1584E+01	-0.1584E+01
11	0.2618E+00	0.2074E+01	0.6615E+00	-0.1405E+01	-0.1405E+01
12	0.2880E+00	0.1660E+01	0.2727E+00	-0.1220E+01	-0.1220E+01
13	0.3142E+00	0.1240E+01	-0.1138E+00	-0.1029E+01	-0.1029E+01
14	0.3403E+00	0.8158E+00	-0.4951E+00	-0.8319E+00	-0.8319E+00
15	0.3665E+00	0.3906E+00	-0.8688E+00	-0.6296E+00	-0.6296E+00
16	0.3927E+00	-0.3251E-01	-0.1232E+01	-0.4227E+00	-0.4227E+00
17	0.4189E+00	-0.4505E+00	-0.1583E+01	-0.2117E+00	-0.2117E+00
18	0.4451E+00	-0.8605E+00	-0.1918E+01	0.2265E-02	0.2265E-02
19	0.4712E+00	-0.1260E+01	-0.2236E+01	0.2184E+00	0.2184E+00
20	0.4974E+00	-0.1645E+01	-0.2535E+01	0.4357E+00	0.4357E+00
21	0.5236E+00	-0.2014E+01	-0.2811E+01	0.6531E+00	0.6531E+00
22	0.5498E+00	-0.2364E+01	-0.3065E+01	0.8693E+00	0.8693E+00
23	0.5760E+00	-0.2692E+01	-0.3293E+01	0.1083E+01	0.1083E+01
24	0.6021E+00	-0.2997E+01	-0.3494E+01	0.1294E+01	0.1294E+01
25	0.6283E+00	-0.3276E+01	-0.3668E+01	0.1499E+01	0.1499E+01
26	0.6545E+00	-0.3528E+01	-0.3813E+01	0.1699E+01	0.1699E+01
27	0.6807E+00	-0.3750E+01	-0.3928E+01	0.1892E+01	0.1892E+01
28	0.7069E+00	-0.3942E+01	-0.4012E+01	0.2076E+01	0.2076E+01
29	0.7330E+00	-0.4102E+01	-0.4066E+01	0.2251E+01	0.2251E+01
30	0.7592E+00	-0.4229E+01	-0.4088E+01	0.2415E+01	0.2415E+01
31	0.7854E+00	-0.4322E+01	-0.4080E+01	0.2568E+01	0.2568E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.1097E+02, \tilde{a}_{12} = 0.1287E+02, \tilde{b}_{11} = 0.1094E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.9865E+01, \tilde{a}_{22} = 0.1076E+02, \tilde{b}_{22} = 0.1065E+01. \end{aligned} \quad (20.2B)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.1097E+02, \tilde{a}_{12} = 0.1287E+02, \tilde{b}_{11} = 0.1094E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.9865E+01, \tilde{a}_{22} = 0.1076E+02, \tilde{b}_{22} = 0.1065E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (20.3B)$$

Вариант 21В

Таблица 21.1В – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.6000E+01	0.3000E+01	0.5000E+01	0.5000E+01
2	0.2618E-01	0.6123E+01	0.3122E+01	0.4296E+01	0.4296E+01
3	0.5236E-01	0.6231E+01	0.3225E+01	0.3600E+01	0.3600E+01
4	0.7854E-01	0.6323E+01	0.3310E+01	0.2913E+01	0.2913E+01
5	0.1047E+00	0.6399E+01	0.3378E+01	0.2235E+01	0.2235E+01
6	0.1309E+00	0.6459E+01	0.3427E+01	0.1569E+01	0.1569E+01
7	0.1571E+00	0.6502E+01	0.3460E+01	0.9145E+00	0.9145E+00
8	0.1833E+00	0.6529E+01	0.3475E+01	0.2739E+00	0.2739E+00
9	0.2094E+00	0.6538E+01	0.3474E+01	-0.3519E+00	-0.3519E+00
10	0.2356E+00	0.6532E+01	0.3457E+01	-0.9618E+00	-0.9618E+00
11	0.2618E+00	0.6508E+01	0.3424E+01	-0.1555E+01	-0.1555E+01
12	0.2880E+00	0.6468E+01	0.3376E+01	-0.2129E+01	-0.2129E+01
13	0.3142E+00	0.6411E+01	0.3313E+01	-0.2685E+01	-0.2685E+01
14	0.3403E+00	0.6339E+01	0.3235E+01	-0.3220E+01	-0.3220E+01
15	0.3665E+00	0.6250E+01	0.3144E+01	-0.3734E+01	-0.3734E+01
16	0.3927E+00	0.6145E+01	0.3040E+01	-0.4225E+01	-0.4225E+01
17	0.4189E+00	0.6025E+01	0.2923E+01	-0.4694E+01	-0.4694E+01
18	0.4451E+00	0.5890E+01	0.2795E+01	-0.5138E+01	-0.5138E+01
19	0.4712E+00	0.5741E+01	0.2655E+01	-0.5557E+01	-0.5557E+01
20	0.4974E+00	0.5577E+01	0.2504E+01	-0.5951E+01	-0.5951E+01
21	0.5236E+00	0.5400E+01	0.2343E+01	-0.6319E+01	-0.6319E+01
22	0.5498E+00	0.5209E+01	0.2173E+01	-0.6659E+01	-0.6659E+01
23	0.5760E+00	0.5006E+01	0.1995E+01	-0.6972E+01	-0.6972E+01
24	0.6021E+00	0.4791E+01	0.1808E+01	-0.7257E+01	-0.7257E+01
25	0.6283E+00	0.4565E+01	0.1615E+01	-0.7514E+01	-0.7514E+01
26	0.6545E+00	0.4328E+01	0.1415E+01	-0.7741E+01	-0.7741E+01
27	0.6807E+00	0.4081E+01	0.1210E+01	-0.7939E+01	-0.7939E+01
28	0.7069E+00	0.3825E+01	0.9998E+00	-0.8108E+01	-0.8108E+01
29	0.7330E+00	0.3561E+01	0.7857E+00	-0.8247E+01	-0.8247E+01
30	0.7592E+00	0.3290E+01	0.5683E+00	-0.8357E+01	-0.8357E+01
31	0.7854E+00	0.3011E+01	0.3484E+00	-0.8436E+01	-0.8436E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.1036E+01, \tilde{a}_{12} = 0.1977E+01, \tilde{b}_{11} = 0.9993E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.4629E-01, \tilde{a}_{22} = -0.2577E-02, \tilde{b}_{22} = 0.9867E+00. \end{aligned} \quad (21.2B)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E-06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.1036E+01, \tilde{a}_{12} = 0.1977E+01, \tilde{b}_{11} = 0.9993E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.4629E-01, \tilde{a}_{22} = -0.2578E-02, \tilde{b}_{22} = 0.9867E+00, (r = 30). \end{aligned} \quad (21.3B)$$

Вариант 22В

Таблица 22.1В – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.1000E+01	0.0000E+00	0.2000E+01	0.2000E+01
2	0.1000E-01	0.9998E+00	0.9704E-02	0.1960E+01	0.1960E+01
3	0.2000E-01	0.9992E+00	0.1883E-01	0.1922E+01	0.1922E+01
4	0.3000E-01	0.9983E+00	0.2741E-01	0.1884E+01	0.1884E+01
5	0.4000E-01	0.9970E+00	0.3545E-01	0.1846E+01	0.1846E+01
6	0.5000E-01	0.9953E+00	0.4298E-01	0.1810E+01	0.1810E+01
7	0.6000E-01	0.9934E+00	0.5002E-01	0.1774E+01	0.1774E+01
8	0.7000E-01	0.9911E+00	0.5660E-01	0.1739E+01	0.1739E+01
9	0.8000E-01	0.9885E+00	0.6272E-01	0.1704E+01	0.1704E+01
10	0.9000E-01	0.9856E+00	0.6841E-01	0.1671E+01	0.1671E+01
11	0.1000E+00	0.9825E+00	0.7369E-01	0.1637E+01	0.1637E+01
12	0.1100E+00	0.9791E+00	0.7857E-01	0.1605E+01	0.1605E+01
13	0.1200E+00	0.9754E+00	0.8307E-01	0.1573E+01	0.1573E+01
14	0.1300E+00	0.9715E+00	0.8721E-01	0.1542E+01	0.1542E+01
15	0.1400E+00	0.9674E+00	0.9100E-01	0.1512E+01	0.1512E+01
16	0.1500E+00	0.9631E+00	0.9445E-01	0.1482E+01	0.1482E+01
17	0.1600E+00	0.9585E+00	0.9759E-01	0.1452E+01	0.1452E+01
18	0.1700E+00	0.9538E+00	0.1004E+00	0.1424E+01	0.1424E+01
19	0.1800E+00	0.9488E+00	0.1030E+00	0.1395E+01	0.1395E+01
20	0.1900E+00	0.9437E+00	0.1052E+00	0.1368E+01	0.1368E+01
21	0.2000E+00	0.9384E+00	0.1073E+00	0.1341E+01	0.1341E+01
22	0.2100E+00	0.9330E+00	0.1090E+00	0.1314E+01	0.1314E+01
23	0.2200E+00	0.9274E+00	0.1105E+00	0.1288E+01	0.1288E+01
24	0.2300E+00	0.9217E+00	0.1118E+00	0.1263E+01	0.1263E+01
25	0.2400E+00	0.9158E+00	0.1129E+00	0.1238E+01	0.1238E+01
26	0.2500E+00	0.9098E+00	0.1137E+00	0.1213E+01	0.1213E+01
27	0.2600E+00	0.9037E+00	0.1144E+00	0.1189E+01	0.1189E+01
28	0.2700E+00	0.8974E+00	0.1149E+00	0.1165E+01	0.1165E+01
29	0.2800E+00	0.8911E+00	0.1152E+00	0.1142E+01	0.1142E+01
30	0.2900E+00	0.8846E+00	0.1153E+00	0.1120E+01	0.1120E+01
31	0.3000E+00	0.8781E+00	0.1153E+00	0.1098E+01	0.1098E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.1965E+01, \tilde{a}_{12} = -0.4123E - 01, \tilde{b}_{11} = 0.9729E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.9577E+00, \tilde{a}_{22} = -0.2036E+01, \tilde{b}_{22} = 0.9642E+00. \end{aligned} \quad (22.2B)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.1967E+01, \tilde{a}_{12} = -0.3645E - 01, \tilde{b}_{11} = 0.9738E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.9529E+00, \tilde{a}_{22} = -0.2049E+01, \tilde{b}_{22} = 0.9619E+00, (r = 30). \end{aligned} \quad (22.3B)$$

Вариант 23В

Таблица 23.1В – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.1000E+01	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
2	0.2000E-01	0.1019E+01	-0.1941E-01	0.1960E-01	0.1960E-01
3	0.4000E-01	0.1037E+01	-0.3767E-01	0.3843E-01	0.3843E-01
4	0.6000E-01	0.1053E+01	-0.5484E-01	0.5651E-01	0.5651E-01
5	0.8000E-01	0.1068E+01	-0.7097E-01	0.7385E-01	0.7385E-01
6	0.1000E+00	0.1082E+01	-0.8611E-01	0.9048E-01	0.9048E-01
7	0.1200E+00	0.1094E+01	-0.1003E+00	0.1064E+00	0.1064E+00
8	0.1400E+00	0.1105E+01	-0.1136E+00	0.1217E+00	0.1217E+00
9	0.1600E+00	0.1115E+01	-0.1260E+00	0.1363E+00	0.1363E+00
10	0.1800E+00	0.1124E+01	-0.1376E+00	0.1503E+00	0.1503E+00
11	0.2000E+00	0.1132E+01	-0.1485E+00	0.1637E+00	0.1637E+00
12	0.2200E+00	0.1139E+01	-0.1586E+00	0.1766E+00	0.1766E+00
13	0.2400E+00	0.1145E+01	-0.1679E+00	0.1888E+00	0.1888E+00
14	0.2600E+00	0.1150E+01	-0.1767E+00	0.2005E+00	0.2005E+00
15	0.2800E+00	0.1155E+01	-0.1848E+00	0.2116E+00	0.2116E+00
16	0.3000E+00	0.1159E+01	-0.1922E+00	0.2222E+00	0.2222E+00
17	0.3200E+00	0.1162E+01	-0.1992E+00	0.2324E+00	0.2324E+00
18	0.3400E+00	0.1164E+01	-0.2055E+00	0.2420E+00	0.2420E+00
19	0.3600E+00	0.1166E+01	-0.2114E+00	0.2512E+00	0.2512E+00
20	0.3800E+00	0.1167E+01	-0.2167E+00	0.2599E+00	0.2599E+00
21	0.4000E+00	0.1167E+01	-0.2217E+00	0.2681E+00	0.2681E+00
22	0.4200E+00	0.1167E+01	-0.2261E+00	0.2760E+00	0.2760E+00
23	0.4400E+00	0.1167E+01	-0.2302E+00	0.2834E+00	0.2834E+00
24	0.4600E+00	0.1166E+01	-0.2338E+00	0.2904E+00	0.2904E+00
25	0.4800E+00	0.1164E+01	-0.2371E+00	0.2970E+00	0.2970E+00
26	0.5000E+00	0.1163E+01	-0.2401E+00	0.3033E+00	0.3033E+00
27	0.5200E+00	0.1160E+01	-0.2427E+00	0.3092E+00	0.3092E+00
28	0.5400E+00	0.1158E+01	-0.2450E+00	0.3147E+00	0.3147E+00
29	0.5600E+00	0.1155E+01	-0.2470E+00	0.3199E+00	0.3199E+00
30	0.5800E+00	0.1152E+01	-0.2488E+00	0.3247E+00	0.3247E+00
31	0.6000E+00	0.1148E+01	-0.2503E+00	0.3293E+00	0.3293E+00

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.9592E+00, \tilde{a}_{12} = 0.3776E+01, \tilde{b}_{11} = -0.1057E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.9707E+00, \tilde{a}_{22} = -0.2960E+01, \tilde{b}_{22} = 0.9449E+00. \end{aligned} \quad (23.2B)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.9592E+00, \tilde{a}_{12} = 0.3776E+01, \tilde{b}_{11} = -0.1057E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.9707E+00, \tilde{a}_{22} = -0.2964E+01, \tilde{b}_{22} = 0.9426E+00, (r = 30). \end{aligned} \quad (23.3B)$$

Вариант 24В

Таблица 24.1В – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.2000E+01	-0.3125E-01	0.2781E+01	0.0000E+00
2	0.2094E+00	0.2190E+01	-0.4941E+00	0.2720E+01	0.2144E+00
3	0.4189E+00	0.2253E+01	-0.8195E+00	0.2541E+01	0.4194E+00
4	0.6283E+00	0.2210E+01	-0.1011E+01	0.2250E+01	0.6062E+00
5	0.8378E+00	0.2083E+01	-0.1079E+01	0.1861E+01	0.7664E+00
6	0.1047E+01	0.1889E+01	-0.1041E+01	0.1391E+01	0.8931E+00
7	0.1257E+01	0.1641E+01	-0.9155E+00	0.8595E+00	0.9808E+00
8	0.1466E+01	0.1354E+01	-0.7237E+00	0.2907E+00	0.1026E+01
9	0.1676E+01	0.1038E+01	-0.4866E+00	-0.2907E+00	0.1026E+01
10	0.1885E+01	0.7055E+00	-0.2243E+00	-0.8595E+00	0.9808E+00
11	0.2094E+01	0.3660E+00	0.4456E-01	-0.1391E+01	0.8931E+00
12	0.2304E+01	0.3004E-01	0.3037E+00	-0.1861E+01	0.7664E+00
13	0.2513E+01	-0.2924E+00	0.5390E+00	-0.2250E+01	0.6062E+00
14	0.2723E+01	-0.5916E+00	0.7393E+00	-0.2541E+01	0.4194E+00
15	0.2932E+01	-0.8582E+00	0.8958E+00	-0.2720E+01	0.2144E+00
16	0.3142E+01	-0.1084E+01	0.1003E+01	-0.2781E+01	0.5526E-07
17	0.3351E+01	-0.1260E+01	0.1057E+01	-0.2720E+01	-0.2144E+00
18	0.3560E+01	-0.1383E+01	0.1057E+01	-0.2541E+01	-0.4194E+00
19	0.3770E+01	-0.1446E+01	0.1006E+01	-0.2250E+01	-0.6062E+00
20	0.3979E+01	-0.1449E+01	0.9060E+00	-0.1861E+01	-0.7664E+00
21	0.4189E+01	-0.1392E+01	0.7641E+00	-0.1391E+01	-0.8931E+00
22	0.4398E+01	-0.1276E+01	0.5873E+00	-0.8595E+00	-0.9808E+00
23	0.4608E+01	-0.1107E+01	0.3842E+00	-0.2907E+00	-0.1026E+01
24	0.4817E+01	-0.8916E+00	0.1645E+00	0.2907E+00	-0.1026E+01
25	0.5027E+01	-0.6393E+00	-0.6192E-01	0.8595E+00	-0.9808E+00
26	0.5236E+01	-0.3605E+00	-0.2848E+00	0.1391E+01	-0.8931E+00
27	0.5445E+01	-0.6693E-01	-0.4942E+00	0.1861E+01	-0.7664E+00
28	0.5655E+01	0.2289E+00	-0.6810E+00	0.2250E+01	-0.6062E+00
29	0.5864E+01	0.5143E+00	-0.8371E+00	0.2541E+01	-0.4194E+00
30	0.6074E+01	0.7770E+00	-0.9558E+00	0.2720E+01	-0.2144E+00
31	0.6283E+01	0.1006E+01	-0.1032E+01	0.2781E+01	-0.1105E-06

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.8572E+00, \tilde{a}_{12} = 0.8741E+00, \tilde{b}_{11} = 0.9555E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1109E+01, \tilde{a}_{22} = -0.9504E+00, \tilde{b}_{22} = 0.1881E+01. \end{aligned} \quad (24.2B)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.8572E+00, \tilde{a}_{12} = 0.8741E+00, \tilde{b}_{11} = 0.9555E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1109E+01, \tilde{a}_{22} = -0.9504E+00, \tilde{b}_{22} = 0.1881E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (24.3B)$$

Вариант 25В

Таблица 25.1В – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.2000E+01	-0.2250E+01	0.1075E+02	0.0000E+00
2	0.2618E-01	0.2037E+01	-0.2303E+01	0.1072E+02	0.6277E+00
3	0.5236E-01	0.2067E+01	-0.2326E+01	0.1062E+02	0.1251E+01
4	0.7854E-01	0.2092E+01	-0.2318E+01	0.1045E+02	0.1868E+01
5	0.1047E+00	0.2110E+01	-0.2281E+01	0.1022E+02	0.2472E+01
6	0.1309E+00	0.2121E+01	-0.2216E+01	0.9932E+01	0.3061E+01
7	0.1571E+00	0.2125E+01	-0.2124E+01	0.9578E+01	0.3632E+01
8	0.1833E+00	0.2122E+01	-0.2005E+01	0.9166E+01	0.4180E+01
9	0.2094E+00	0.2111E+01	-0.1863E+01	0.8697E+01	0.4702E+01
10	0.2356E+00	0.2093E+01	-0.1697E+01	0.8174E+01	0.5196E+01
11	0.2618E+00	0.2067E+01	-0.1509E+01	0.7601E+01	0.5657E+01
12	0.2880E+00	0.2033E+01	-0.1302E+01	0.6982E+01	0.6083E+01
13	0.3142E+00	0.1991E+01	-0.1077E+01	0.6319E+01	0.6472E+01
14	0.3403E+00	0.1942E+01	-0.8358E+00	0.5617E+01	0.6821E+01
15	0.3665E+00	0.1886E+01	-0.5806E+00	0.4880E+01	0.7128E+01
16	0.3927E+00	0.1822E+01	-0.3135E+00	0.4114E+01	0.7391E+01
17	0.4189E+00	0.1751E+01	-0.3641E-01	0.3322E+01	0.7608E+01
18	0.4451E+00	0.1673E+01	0.2484E+00	0.2510E+01	0.7779E+01
19	0.4712E+00	0.1589E+01	0.5388E+00	0.1682E+01	0.7902E+01
20	0.4974E+00	0.1498E+01	0.8327E+00	0.8434E+00	0.7975E+01
21	0.5236E+00	0.1402E+01	0.1128E+01	0.2880E-06	0.8000E+01
22	0.5498E+00	0.1301E+01	0.1422E+01	-0.8434E+00	0.7975E+01
23	0.5760E+00	0.1194E+01	0.1713E+01	-0.1682E+01	0.7902E+01
24	0.6021E+00	0.1084E+01	0.1999E+01	-0.2510E+01	0.7779E+01
25	0.6283E+00	0.9692E+00	0.2278E+01	-0.3322E+01	0.7608E+01
26	0.6545E+00	0.8515E+00	0.2547E+01	-0.4114E+01	0.7391E+01
27	0.6807E+00	0.7313E+00	0.2805E+01	-0.4880E+01	0.7128E+01
28	0.7069E+00	0.6091E+00	0.3050E+01	-0.5617E+01	0.6821E+01
29	0.7330E+00	0.4855E+00	0.3281E+01	-0.6319E+01	0.6472E+01
30	0.7592E+00	0.3612E+00	0.3494E+01	-0.6982E+01	0.6083E+01
31	0.7854E+00	0.2369E+00	0.3690E+01	-0.7601E+01	0.5657E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.3630E+01, \tilde{a}_{12} = 0.1075E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1031E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.2103E+01, \tilde{a}_{22} = -0.9664E+00, \tilde{b}_{22} = 0.1909E+01. \end{aligned} \quad (25.2B)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.3630E+01, \tilde{a}_{12} = 0.1075E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1031E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.2103E+01, \tilde{a}_{22} = -0.9664E+00, \tilde{b}_{22} = 0.1909E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (25.3B)$$

Вариант 26В

Таблица 26.1В – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.3000E+01	0.3000E+01	0.1000E+01	0.1500E+01
2	0.1047E+00	0.2811E+01	0.2994E+01	0.9945E+00	0.1440E+01
3	0.2094E+00	0.2655E+01	0.2975E+01	0.9781E+00	0.1363E+01
4	0.3142E+00	0.2524E+01	0.2942E+01	0.9511E+00	0.1272E+01
5	0.4189E+00	0.2411E+01	0.2892E+01	0.9135E+00	0.1167E+01
6	0.5236E+00	0.2309E+01	0.2824E+01	0.8660E+00	0.1049E+01
7	0.6283E+00	0.2215E+01	0.2739E+01	0.8090E+00	0.9196E+00
8	0.7330E+00	0.2124E+01	0.2636E+01	0.7431E+00	0.7802E+00
9	0.8378E+00	0.2032E+01	0.2514E+01	0.6691E+00	0.6321E+00
10	0.9425E+00	0.1938E+01	0.2374E+01	0.5878E+00	0.4772E+00
11	0.1047E+01	0.1840E+01	0.2217E+01	0.5000E+00	0.3170E+00
12	0.1152E+01	0.1736E+01	0.2043E+01	0.4067E+00	0.1533E+00
13	0.1257E+01	0.1626E+01	0.1854E+01	0.3090E+00	-0.1200E-01
14	0.1361E+01	0.1508E+01	0.1650E+01	0.2079E+00	-0.1772E+00
15	0.1466E+01	0.1383E+01	0.1434E+01	0.1045E+00	-0.3405E+00
16	0.1571E+01	0.1251E+01	0.1208E+01	0.2679E-07	-0.5000E+00
17	0.1676E+01	0.1112E+01	0.9727E+00	-0.1045E+00	-0.6541E+00
18	0.1780E+01	0.9673E+00	0.7309E+00	-0.2079E+00	-0.8009E+00
19	0.1885E+01	0.8169E+00	0.4849E+00	-0.3090E+00	-0.9391E+00
20	0.1990E+01	0.6622E+00	0.2368E+00	-0.4067E+00	-0.1067E+01
21	0.2094E+01	0.5043E+00	-0.1083E-01	-0.5000E+00	-0.1183E+01
22	0.2199E+01	0.3444E+00	-0.2557E+00	-0.5878E+00	-0.1286E+01
23	0.2304E+01	0.1839E+00	-0.4952E+00	-0.6691E+00	-0.1375E+01
24	0.2409E+01	0.2402E-01	-0.7272E+00	-0.7431E+00	-0.1449E+01
25	0.2513E+01	-0.1337E+00	-0.9492E+00	-0.8090E+00	-0.1507E+01
26	0.2618E+01	-0.2878E+00	-0.1159E+01	-0.8660E+00	-0.1549E+01
27	0.2723E+01	-0.4368E+00	-0.1355E+01	-0.9135E+00	-0.1574E+01
28	0.2827E+01	-0.5794E+00	-0.1534E+01	-0.9511E+00	-0.1581E+01
29	0.2932E+01	-0.7141E+00	-0.1695E+01	-0.9781E+00	-0.1571E+01
30	0.3037E+01	-0.8397E+00	-0.1837E+01	-0.9945E+00	-0.1544E+01
31	0.3142E+01	-0.9549E+00	-0.1957E+01	-0.1000E+01	-0.1500E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.1716E+01, \tilde{a}_{12} = 0.6823E+00, \tilde{b}_{11} = 0.1302E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= 0.7769E-01, \tilde{a}_{22} = -0.1102E+01, \tilde{b}_{22} = 0.2018E+01. \end{aligned} \quad (26.2B)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.1716E+01, \tilde{a}_{12} = 0.6823E+00, \tilde{b}_{11} = 0.1302E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= 0.7769E-01, \tilde{a}_{22} = -0.1102E+01, \tilde{b}_{22} = 0.2018E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (26.3B)$$

Вариант 27В

Таблица 27.1В – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	-0.1000E+01	0.4000E+01	-0.3000E+01	0.4000E+01
2	0.1000E+00	-0.1371E+01	0.4025E+01	-0.3085E+01	0.4180E+01
3	0.2000E+00	-0.1687E+01	0.4085E+01	-0.3139E+01	0.4318E+01
4	0.3000E+00	-0.1953E+01	0.4159E+01	-0.3162E+01	0.4412E+01
5	0.4000E+00	-0.2172E+01	0.4233E+01	-0.3153E+01	0.4463E+01
6	0.5000E+00	-0.2346E+01	0.4294E+01	-0.3112E+01	0.4469E+01
7	0.6000E+00	-0.2479E+01	0.4335E+01	-0.3041E+01	0.4431E+01
8	0.7000E+00	-0.2572E+01	0.4350E+01	-0.2939E+01	0.4348E+01
9	0.8000E+00	-0.2626E+01	0.4333E+01	-0.2807E+01	0.4222E+01
10	0.9000E+00	-0.2645E+01	0.4282E+01	-0.2648E+01	0.4053E+01
11	0.1000E+01	-0.2628E+01	0.4195E+01	-0.2462E+01	0.3844E+01
12	0.1100E+01	-0.2579E+01	0.4071E+01	-0.2252E+01	0.3597E+01
13	0.1200E+01	-0.2498E+01	0.3911E+01	-0.2019E+01	0.3314E+01
14	0.1300E+01	-0.2388E+01	0.3713E+01	-0.1766E+01	0.2997E+01
15	0.1400E+01	-0.2250E+01	0.3481E+01	-0.1495E+01	0.2651E+01
16	0.1500E+01	-0.2087E+01	0.3216E+01	-0.1210E+01	0.2278E+01
17	0.1600E+01	-0.1900E+01	0.2919E+01	-0.9120E+00	0.1882E+01
18	0.1700E+01	-0.1692E+01	0.2595E+01	-0.6051E+00	0.1468E+01
19	0.1800E+01	-0.1466E+01	0.2244E+01	-0.2922E+00	0.1039E+01
20	0.1900E+01	-0.1224E+01	0.1872E+01	0.2357E-01	0.5994E+00
21	0.2000E+01	-0.9680E+00	0.1482E+01	0.3391E+00	0.1540E+00
22	0.2100E+01	-0.7017E+00	0.1077E+01	0.6513E+00	-0.2930E+00
23	0.2200E+01	-0.4277E+00	0.6613E+00	0.9570E+00	-0.7370E+00
24	0.2300E+01	-0.1488E+00	0.2393E+00	0.1253E+01	-0.1174E+01
25	0.2400E+01	0.1321E+00	-0.1850E+00	0.1537E+01	-0.1599E+01
26	0.2500E+01	0.4121E+00	-0.6075E+00	0.1805E+01	-0.2008E+01
27	0.2600E+01	0.6883E+00	-0.1024E+01	0.2055E+01	-0.2397E+01
28	0.2700E+01	0.9579E+00	-0.1430E+01	0.2285E+01	-0.2762E+01
29	0.2800E+01	0.1218E+01	-0.1821E+01	0.2492E+01	-0.3099E+01
30	0.2900E+01	0.1466E+01	-0.2195E+01	0.2674E+01	-0.3405E+01
31	0.3000E+01	0.1700E+01	-0.2546E+01	0.2829E+01	-0.3678E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.1906E+01, \tilde{a}_{12} = 0.9545E-01, \tilde{b}_{11} = 0.1996E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= 0.2707E+00, \tilde{a}_{22} = -0.2869E+01, \tilde{b}_{22} = 0.2994E+01. \end{aligned} \quad (27.2B)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E-06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.1906E+01, \tilde{a}_{12} = 0.9545E-01, \tilde{b}_{11} = 0.1996E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= 0.2707E+00, \tilde{a}_{22} = -0.2869E+01, \tilde{b}_{22} = 0.2994E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (27.3B)$$

Вариант 28В

Таблица 28.1В – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.0000E+00	-0.1000E+01	0.1000E+01	0.0000E+00
2	0.3491E-01	0.6233E-03	-0.9639E+00	0.9994E+00	0.5233E-01
3	0.6981E-01	0.2548E-02	-0.9255E+00	0.9976E+00	0.1045E+00
4	0.1047E+00	0.5855E-02	-0.8851E+00	0.9945E+00	0.1562E+00
5	0.1396E+00	0.1062E-01	-0.8428E+00	0.9903E+00	0.2074E+00
6	0.1745E+00	0.1691E-01	-0.7989E+00	0.9848E+00	0.2578E+00
7	0.2094E+00	0.2480E-01	-0.7535E+00	0.9781E+00	0.3073E+00
8	0.2443E+00	0.3435E-01	-0.7069E+00	0.9703E+00	0.3557E+00
9	0.2793E+00	0.4560E-01	-0.6594E+00	0.9613E+00	0.4028E+00
10	0.3142E+00	0.5862E-01	-0.6111E+00	0.9511E+00	0.4484E+00
11	0.3491E+00	0.7344E-01	-0.5624E+00	0.9397E+00	0.4924E+00
12	0.3840E+00	0.9010E-01	-0.5134E+00	0.9272E+00	0.5346E+00
13	0.4189E+00	0.1086E+00	-0.4645E+00	0.9135E+00	0.5749E+00
14	0.4538E+00	0.1290E+00	-0.4160E+00	0.8988E+00	0.6132E+00
15	0.4887E+00	0.1513E+00	-0.3680E+00	0.8829E+00	0.6493E+00
16	0.5236E+00	0.1756E+00	-0.3208E+00	0.8660E+00	0.6830E+00
17	0.5585E+00	0.2017E+00	-0.2748E+00	0.8480E+00	0.7144E+00
18	0.5934E+00	0.2296E+00	-0.2302E+00	0.8290E+00	0.7432E+00
19	0.6283E+00	0.2595E+00	-0.1871E+00	0.8090E+00	0.7694E+00
20	0.6632E+00	0.2912E+00	-0.1460E+00	0.7880E+00	0.7930E+00
21	0.6981E+00	0.3246E+00	-0.1070E+00	0.7660E+00	0.8138E+00
22	0.7330E+00	0.3598E+00	-0.7029E-01	0.7431E+00	0.8318E+00
23	0.7679E+00	0.3967E+00	-0.3622E-01	0.7193E+00	0.8470E+00
24	0.8029E+00	0.4352E+00	-0.4954E-02	0.6947E+00	0.8594E+00
25	0.8378E+00	0.4752E+00	0.2329E-01	0.6691E+00	0.8688E+00
26	0.8727E+00	0.5167E+00	0.4832E-01	0.6428E+00	0.8754E+00
27	0.9076E+00	0.5595E+00	0.6995E-01	0.6157E+00	0.8792E+00
28	0.9425E+00	0.6036E+00	0.8801E-01	0.5878E+00	0.8800E+00
29	0.9774E+00	0.6488E+00	0.1024E+00	0.5592E+00	0.8781E+00
30	0.1012E+01	0.6950E+00	0.1128E+00	0.5299E+00	0.8734E+00
31	0.1047E+01	0.7421E+00	0.1194E+00	0.5000E+00	0.8660E+00

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.9758E+00, \tilde{a}_{12} = 0.1028E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1047E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.2037E+01, \tilde{a}_{22} = -0.1035E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1968E+01. \end{aligned} \quad (28.2B)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.9758E+00, \tilde{a}_{12} = 0.1028E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1047E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.2037E+01, \tilde{a}_{22} = -0.1035E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1968E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (28.3B)$$

Вариант 29В

Таблица 29.1В – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.3000E+01	0.1000E+01	0.5000E+00
2	0.1047E+00	0.4267E+00	0.2714E+01	0.9781E+00	0.6970E+00
3	0.2094E+00	0.8561E+00	0.2279E+01	0.9135E+00	0.8635E+00
4	0.3142E+00	0.1268E+01	0.1707E+01	0.8090E+00	0.9923E+00
5	0.4189E+00	0.1642E+01	0.1017E+01	0.6691E+00	0.1078E+01
6	0.5236E+00	0.1959E+01	0.2360E+00	0.5000E+00	0.1116E+01
7	0.6283E+00	0.2201E+01	-0.6042E+00	0.3090E+00	0.1106E+01
8	0.7330E+00	0.2354E+01	-0.1466E+01	0.1045E+00	0.1047E+01
9	0.8378E+00	0.2406E+01	-0.2310E+01	-0.1045E+00	0.9423E+00
10	0.9425E+00	0.2350E+01	-0.3093E+01	-0.3090E+00	0.7965E+00
11	0.1047E+01	0.2186E+01	-0.3776E+01	-0.5000E+00	0.6160E+00
12	0.1152E+01	0.1914E+01	-0.4321E+01	-0.6691E+00	0.4086E+00
13	0.1257E+01	0.1545E+01	-0.4695E+01	-0.8090E+00	0.1833E+00
14	0.1361E+01	0.1090E+01	-0.4871E+01	-0.9135E+00	-0.5004E-01
15	0.1466E+01	0.5682E+00	-0.4833E+01	-0.9781E+00	-0.2812E+00
16	0.1571E+01	0.1493E-06	-0.4571E+01	-0.1000E+01	-0.5000E+00
17	0.1676E+01	-0.5900E+00	-0.4087E+01	-0.9781E+00	-0.6970E+00
18	0.1780E+01	-0.1176E+01	-0.3395E+01	-0.9135E+00	-0.8635E+00
19	0.1885E+01	-0.1730E+01	-0.2516E+01	-0.8090E+00	-0.9923E+00
20	0.1990E+01	-0.2226E+01	-0.1485E+01	-0.6691E+00	-0.1078E+01
21	0.2094E+01	-0.2639E+01	-0.3413E+00	-0.5000E+00	-0.1116E+01
22	0.2199E+01	-0.2948E+01	0.8657E+00	-0.3090E+00	-0.1106E+01
23	0.2304E+01	-0.3135E+01	0.2083E+01	-0.1045E+00	-0.1047E+01
24	0.2409E+01	-0.3187E+01	0.3255E+01	0.1045E+00	-0.9423E+00
25	0.2513E+01	-0.3097E+01	0.4325E+01	0.3090E+00	-0.7965E+00
26	0.2618E+01	-0.2866E+01	0.5242E+01	0.5000E+00	-0.6160E+00
27	0.2723E+01	-0.2498E+01	0.5956E+01	0.6691E+00	-0.4086E+00
28	0.2827E+01	-0.2007E+01	0.6427E+01	0.8090E+00	-0.1833E+00
29	0.2932E+01	-0.1410E+01	0.6626E+01	0.9135E+00	0.5004E-01
30	0.3037E+01	-0.7315E+00	0.6533E+01	0.9781E+00	0.2812E+00
31	0.3142E+01	-0.3827E-06	0.6142E+01	0.1000E+01	0.5000E+00

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.7811E+00, \tilde{a}_{12} = 0.9924E+00, \tilde{b}_{11} = 0.1098E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.4960E+01, \tilde{a}_{22} = -0.1204E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1771E+01. \end{aligned} \quad (29.2B)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.7811E+00, \tilde{a}_{12} = 0.9924E+00, \tilde{b}_{11} = 0.1098E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.4960E+01, \tilde{a}_{22} = -0.1204E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1771E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (29.3B)$$

Вариант 30В

Таблица 30.1В – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.7854E+00	0.1381E+00	0.3333E+00	0.2679E-07	0.3000E+01
2	0.8378E+00	0.1639E+00	0.4564E+00	-0.1045E+00	0.3088E+01
3	0.8901E+00	0.1920E+00	0.5740E+00	-0.2079E+00	0.3142E+01
4	0.9425E+00	0.2223E+00	0.6846E+00	-0.3090E+00	0.3162E+01
5	0.9948E+00	0.2546E+00	0.7864E+00	-0.4067E+00	0.3147E+01
6	0.1047E+01	0.2887E+00	0.8780E+00	-0.5000E+00	0.3098E+01
7	0.1100E+01	0.3243E+00	0.9580E+00	-0.5878E+00	0.3015E+01
8	0.1152E+01	0.3613E+00	0.1025E+01	-0.6691E+00	0.2899E+01
9	0.1204E+01	0.3993E+00	0.1078E+01	-0.7431E+00	0.2751E+01
10	0.1257E+01	0.4381E+00	0.1116E+01	-0.8090E+00	0.2572E+01
11	0.1309E+01	0.4773E+00	0.1139E+01	-0.8660E+00	0.2366E+01
12	0.1361E+01	0.5165E+00	0.1145E+01	-0.9135E+00	0.2134E+01
13	0.1414E+01	0.5555E+00	0.1134E+01	-0.9511E+00	0.1878E+01
14	0.1466E+01	0.5937E+00	0.1106E+01	-0.9781E+00	0.1602E+01
15	0.1518E+01	0.6309E+00	0.1062E+01	-0.9945E+00	0.1308E+01
16	0.1571E+01	0.6667E+00	0.1000E+01	-0.1000E+01	0.1000E+01
17	0.1623E+01	0.7006E+00	0.9221E+00	-0.9945E+00	0.6809E+00
18	0.1676E+01	0.7323E+00	0.8282E+00	-0.9781E+00	0.3544E+00
19	0.1728E+01	0.7615E+00	0.7193E+00	-0.9511E+00	0.2401E-01
20	0.1780E+01	0.7877E+00	0.5963E+00	-0.9135E+00	-0.3067E+00
21	0.1833E+01	0.8106E+00	0.4602E+00	-0.8660E+00	-0.6340E+00
22	0.1885E+01	0.8300E+00	0.3124E+00	-0.8090E+00	-0.9543E+00
23	0.1937E+01	0.8454E+00	0.1542E+00	-0.7431E+00	-0.1264E+01
24	0.1990E+01	0.8567E+00	-0.1269E-01	-0.6691E+00	-0.1560E+01
25	0.2042E+01	0.8637E+00	-0.1867E+00	-0.5878E+00	-0.1839E+01
26	0.2094E+01	0.8660E+00	-0.3660E+00	-0.5000E+00	-0.2098E+01
27	0.2147E+01	0.8636E+00	-0.5488E+00	-0.4067E+00	-0.2334E+01
28	0.2199E+01	0.8564E+00	-0.7332E+00	-0.3090E+00	-0.2544E+01
29	0.2251E+01	0.8441E+00	-0.9172E+00	-0.2079E+00	-0.2727E+01
30	0.2304E+01	0.8269E+00	-0.1099E+01	-0.1045E+00	-0.2879E+01
31	0.2356E+01	0.8047E+00	-0.1276E+01	-0.8038E-07	-0.3000E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.1033E+01, \tilde{a}_{12} = 0.1062E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1103E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.2076E+01, \tilde{a}_{22} = -0.1105E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1000E+01. \end{aligned} \quad (30.2B)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.1033E+01, \tilde{a}_{12} = 0.1062E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1103E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.2076E+01, \tilde{a}_{22} = -0.1105E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1000E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (30.3B)$$

Вариант 1С

Таблица 1.1С – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t) = u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.2000E+01	0.1000E+01	0.0000E+00
2	0.1000E+00	0.2005E+01	0.9097E+00	0.1000E+00
3	0.2000E+00	0.2020E+01	0.8375E+00	0.2000E+00
4	0.3000E+00	0.2045E+01	0.7816E+00	0.3000E+00
5	0.4000E+00	0.2080E+01	0.7406E+00	0.4000E+00
6	0.5000E+00	0.2125E+01	0.7131E+00	0.5000E+00
7	0.6000E+00	0.2180E+01	0.6976E+00	0.6000E+00
8	0.7000E+00	0.2245E+01	0.6932E+00	0.7000E+00
9	0.8000E+00	0.2320E+01	0.6987E+00	0.8000E+00
10	0.9000E+00	0.2405E+01	0.7131E+00	0.9000E+00
11	0.1000E+01	0.2500E+01	0.7358E+00	0.1000E+01
12	0.1100E+01	0.2605E+01	0.7657E+00	0.1100E+01
13	0.1200E+01	0.2720E+01	0.8024E+00	0.1200E+01
14	0.1300E+01	0.2845E+01	0.8451E+00	0.1300E+01
15	0.1400E+01	0.2980E+01	0.8932E+00	0.1400E+01
16	0.1500E+01	0.3125E+01	0.9463E+00	0.1500E+01
17	0.1600E+01	0.3280E+01	0.1004E+01	0.1600E+01
18	0.1700E+01	0.3445E+01	0.1065E+01	0.1700E+01
19	0.1800E+01	0.3620E+01	0.1131E+01	0.1800E+01
20	0.1900E+01	0.3805E+01	0.1199E+01	0.1900E+01
21	0.2000E+01	0.4000E+01	0.1271E+01	0.2000E+01
22	0.2100E+01	0.4205E+01	0.1345E+01	0.2100E+01
23	0.2200E+01	0.4420E+01	0.1422E+01	0.2200E+01
24	0.2300E+01	0.4645E+01	0.1501E+01	0.2300E+01
25	0.2400E+01	0.4880E+01	0.1581E+01	0.2400E+01
26	0.2500E+01	0.5125E+01	0.1664E+01	0.2500E+01
27	0.2600E+01	0.5380E+01	0.1749E+01	0.2600E+01
28	0.2700E+01	0.5645E+01	0.1834E+01	0.2700E+01
29	0.2800E+01	0.5920E+01	0.1922E+01	0.2800E+01
30	0.2900E+01	0.6205E+01	0.2010E+01	0.2900E+01
31	0.3000E+02	0.6500E+01	0.2100E+01	0.3000E+02

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.8231E - 01, \tilde{a}_{12} = -0.1242E+00, \tilde{b}_{11} = 0.9347E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= 0.7953E - 01, \tilde{a}_{22} = -0.1071E+01, \tilde{b}_{22} = 0.8887E+00. \end{aligned} \quad (1.2C)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 05$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.8230E - 01, \tilde{a}_{12} = -0.1241E+00, \tilde{b}_{11} = 0.9347E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= 0.7955E - 01, \tilde{a}_{22} = -0.1072E+01, \tilde{b}_{22} = 0.8886E+00, (r = 30). \end{aligned} \quad (1.3C)$$

Вариант 2С

Таблица 2.1С – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t) = u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.1750E+01	0.7500E+00	0.1250E+00
2	0.1000E+00	0.1834E+01	0.7589E+00	0.1225E+00
3	0.2000E+00	0.1911E+01	0.7596E+00	0.1151E+00
4	0.3000E+00	0.1977E+01	0.7501E+00	0.1032E+00
5	0.4000E+00	0.2030E+01	0.7285E+00	0.8709E-01
6	0.5000E+00	0.2065E+01	0.6926E+00	0.6754E-01
7	0.6000E+00	0.2079E+01	0.6403E+00	0.4529E-01
8	0.7000E+00	0.2069E+01	0.5692E+00	0.2125E-01
9	0.8000E+00	0.2029E+01	0.4770E+00	-0.3650E-02
10	0.9000E+00	0.1956E+01	0.3615E+00	-0.2840E-01
11	0.1000E+01	0.1844E+01	0.2203E+00	-0.5202E-01
12	0.1100E+01	0.1689E+01	0.5114E-01	-0.7356E-01
13	0.1200E+01	0.1485E+01	-0.1482E+00	-0.9217E-01
14	0.1300E+01	0.1227E+01	-0.3799E+00	-0.1071E+00
15	0.1400E+01	0.9100E+00	-0.6458E+00	-0.1178E+00
16	0.1500E+01	0.5286E+00	-0.9478E+00	-0.1237E+00
17	0.1600E+01	0.7742E-01	-0.1288E+01	-0.1248E+00
18	0.1700E+01	-0.4490E+00	-0.1667E+01	-0.1208E+00
19	0.1800E+01	-0.1056E+01	-0.2086E+01	-0.1121E+00
20	0.1900E+01	-0.1748E+01	-0.2547E+01	-0.9887E-01
21	0.2000E+01	-0.2530E+01	-0.3050E+01	-0.8171E-01
22	0.2100E+01	-0.3407E+01	-0.3595E+01	-0.6128E-01
23	0.2200E+01	-0.4384E+01	-0.4183E+01	-0.3842E-01
24	0.2300E+01	-0.5462E+01	-0.4812E+01	-0.1402E-01
25	0.2400E+01	-0.6647E+01	-0.5482E+01	0.1094E-01
26	0.2500E+01	-0.7940E+01	-0.6192E+01	0.3546E-01
27	0.2600E+01	-0.9343E+01	-0.6939E+01	0.5856E-01
28	0.2700E+01	-0.1086E+02	-0.7720E+01	0.7934E-01
29	0.2800E+01	-0.1248E+02	-0.8532E+01	0.9695E-01
30	0.2900E+01	-0.1421E+02	-0.9370E+01	0.1107E+00
31	0.3000E+02	-0.1605E+02	-0.1023E+02	0.1200E+00

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.1274E+01, \tilde{a}_{12} = 0.3906E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1093E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1214E+01, \tilde{a}_{22} = 0.2770E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1031E+01. \end{aligned} \quad (2.2C)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 04$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.1274E+01, \tilde{a}_{12} = 0.3906E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1093E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1214E+01, \tilde{a}_{22} = 0.2770E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1031E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (2.3C)$$

Вариант 3С

Таблица 3.1С – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	-0.2000E+01	0.0000E+00	-0.1000E+01	-0.2000E+01
2	0.1000E+00	-0.1561E+01	0.3199E+00	-0.4952E+00	-0.1590E+01
3	0.2000E+00	-0.1108E+01	0.6157E+00	0.1860E-01	-0.1160E+01
4	0.3000E+00	-0.6510E+00	0.8825E+00	0.5402E+00	-0.7107E+00
5	0.4000E+00	-0.1966E+00	0.1117E+01	0.1068E+01	-0.2421E+00
6	0.5000E+00	0.2487E+00	0.1317E+01	0.1602E+01	0.2448E+00
7	0.6000E+00	0.6797E+00	0.1481E+01	0.2139E+01	0.7493E+00
8	0.7000E+00	0.1092E+01	0.1611E+01	0.2679E+01	0.1270E+01
9	0.8000E+00	0.1483E+01	0.1706E+01	0.3221E+01	0.1807E+01
10	0.9000E+00	0.1850E+01	0.1770E+01	0.3762E+01	0.2357E+01
11	0.1000E+01	0.2191E+01	0.1806E+01	0.4301E+01	0.2919E+01
12	0.1100E+01	0.2508E+01	0.1816E+01	0.4838E+01	0.3493E+01
13	0.1200E+01	0.2799E+01	0.1806E+01	0.5370E+01	0.4075E+01
14	0.1300E+01	0.3067E+01	0.1778E+01	0.5896E+01	0.4665E+01
15	0.1400E+01	0.3313E+01	0.1738E+01	0.6415E+01	0.5260E+01
16	0.1500E+01	0.3540E+01	0.1690E+01	0.6927E+01	0.5859E+01
17	0.1600E+01	0.3749E+01	0.1638E+01	0.7429E+01	0.6458E+01
18	0.1700E+01	0.3945E+01	0.1586E+01	0.7921E+01	0.7058E+01
19	0.1800E+01	0.4129E+01	0.1537E+01	0.8401E+01	0.7654E+01
20	0.1900E+01	0.4305E+01	0.1496E+01	0.8870E+01	0.8247E+01
21	0.2000E+01	0.4475E+01	0.1464E+01	0.9325E+01	0.8832E+01
22	0.2100E+01	0.4642E+01	0.1444E+01	0.9768E+01	0.9410E+01
23	0.2200E+01	0.4809E+01	0.1437E+01	0.1020E+02	0.9977E+01
24	0.2300E+01	0.4978E+01	0.1445E+01	0.1061E+02	0.1053E+02
25	0.2400E+01	0.5150E+01	0.1469E+01	0.1101E+02	0.1107E+02
26	0.2500E+01	0.5327E+01	0.1507E+01	0.1140E+02	0.1160E+02
27	0.2600E+01	0.5509E+01	0.1560E+01	0.1177E+02	0.1211E+02
28	0.2700E+01	0.5699E+01	0.1627E+01	0.1213E+02	0.1261E+02
29	0.2800E+01	0.5894E+01	0.1707E+01	0.1248E+02	0.1308E+02
30	0.2900E+01	0.6097E+01	0.1797E+01	0.1281E+02	0.1354E+02
31	0.3000E+02	0.6306E+01	0.1895E+01	0.1313E+02	0.1398E+02

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} a_{11} &= -0.2780E+01, a_{12} = 0.2398E+01, b_{11} = 0.1142E+01, \\ a_{21} &= -0.2645E+01, a_{22} = 0.1559E+01, b_{22} = 0.1058E+01. \end{aligned} \quad (3.2C)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 04$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.2780E+01, \tilde{a}_{12} = 0.2398E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1142E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.2645E+01, \tilde{a}_{22} = 0.1559E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1058E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (3.3C)$$

Вариант 4С

Таблица 4.1С – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.1500E+01	0.0000E+00	0.0000E+00	0.1000E+01
2	0.1047E+00	0.1343E+01	-0.2534E+00	0.1045E+00	0.9945E+00
3	0.2094E+00	0.1188E+01	-0.4893E+00	0.2079E+00	0.9781E+00
4	0.3142E+00	0.1036E+01	-0.7068E+00	0.3090E+00	0.9511E+00
5	0.4189E+00	0.8881E+00	-0.9052E+00	0.4067E+00	0.9135E+00
6	0.5236E+00	0.7458E+00	-0.1084E+01	0.5000E+00	0.8660E+00
7	0.6283E+00	0.6099E+00	-0.1243E+01	0.5878E+00	0.8090E+00
8	0.7330E+00	0.4812E+00	-0.1381E+01	0.6691E+00	0.7431E+00
9	0.8378E+00	0.3602E+00	-0.1499E+01	0.7431E+00	0.6691E+00
10	0.9425E+00	0.2475E+00	-0.1597E+01	0.8090E+00	0.5878E+00
11	0.1047E+01	0.1435E+00	-0.1674E+01	0.8660E+00	0.5000E+00
12	0.1152E+01	0.4828E-01	-0.1732E+01	0.9135E+00	0.4067E+00
13	0.1257E+01	-0.3795E-01	-0.1770E+01	0.9511E+00	0.3090E+00
14	0.1361E+01	-0.1152E+00	-0.1789E+01	0.9781E+00	0.2079E+00
15	0.1466E+01	-0.1836E+00	-0.1789E+01	0.9945E+00	0.1045E+00
16	0.1571E+01	-0.2433E+00	-0.1772E+01	0.1000E+01	0.7550E-07
17	0.1676E+01	-0.2945E+00	-0.1739E+01	0.9945E+00	-0.1045E+00
18	0.1780E+01	-0.3375E+00	-0.1689E+01	0.9781E+00	-0.2079E+00
19	0.1885E+01	-0.3728E+00	-0.1625E+01	0.9511E+00	-0.3090E+00
20	0.1990E+01	-0.4007E+00	-0.1547E+01	0.9135E+00	-0.4067E+00
21	0.2094E+01	-0.4216E+00	-0.1456E+01	0.8660E+00	-0.5000E+00
22	0.2199E+01	-0.4361E+00	-0.1354E+01	0.8090E+00	-0.5878E+00
23	0.2304E+01	-0.4446E+00	-0.1242E+01	0.7431E+00	-0.6691E+00
24	0.2409E+01	-0.4476E+00	-0.1121E+01	0.6691E+00	-0.7431E+00
25	0.2513E+01	-0.4457E+00	-0.9930E+00	0.5878E+00	-0.8090E+00
26	0.2618E+01	-0.4393E+00	-0.8589E+00	0.5000E+00	-0.8660E+00
27	0.2723E+01	-0.4290E+00	-0.7201E+00	0.4067E+00	-0.9135E+00
28	0.2827E+01	-0.4153E+00	-0.5782E+00	0.3090E+00	-0.9511E+00
29	0.2932E+01	-0.3986E+00	-0.4344E+00	0.2079E+00	-0.9781E+00
30	0.3037E+01	-0.3794E+00	-0.2903E+00	0.1045E+00	-0.9945E+00
31	0.3142E+01	-0.3582E+00	-0.1471E+00	0.1510E-06	-0.1000E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.9983E+00, \tilde{a}_{12} = 0.9470E+00, \tilde{b}_{11} = 0.9466E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.9478E+00, \tilde{a}_{22} = -0.5151E - 01, \tilde{b}_{22} = -0.9983E+00. \end{aligned} \quad (4.2C)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 04$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.9984E+00, \tilde{a}_{12} = 0.9468E+00, \tilde{b}_{11} = 0.9462E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.9478E+00, \tilde{a}_{22} = -0.5151E - 01, \tilde{b}_{22} = -0.9983E+00, (r = 30). \end{aligned} \quad (4.3C)$$

Вариант 5С

Таблица 5.1С – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.2000E+01	0.2000E+01	-0.5000E+01	-0.1000E+01
2	0.1000E+00	0.2286E+01	0.2191E+01	-0.4500E+01	0.9000E+00
3	0.2000E+00	0.2550E+01	0.2368E+01	-0.4000E+01	-0.8000E+00
4	0.3000E+00	0.2798E+01	0.2535E+01	-0.3500E+01	-0.7000E+00
5	0.4000E+00	0.3037E+01	0.2698E+01	-0.3000E+01	-0.6000E+00
6	0.5000E+00	0.3273E+01	0.2861E+01	-0.2500E+01	-0.5000E+00
7	0.6000E+00	0.3510E+01	0.3027E+01	-0.2000E+01	-0.4000E+00
8	0.7000E+00	0.3752E+01	0.3200E+01	-0.1500E+01	-0.3000E+00
9	0.8000E+00	0.4005E+01	0.3384E+01	-0.1000E+01	-0.2000E+00
10	0.9000E+00	0.4272E+01	0.3581E+01	-0.5000E+00	-0.1000E+00
11	0.1000E+01	0.4557E+01	0.3793E+01	0.0000E+00	0.0000E+00
12	0.1100E+01	0.4862E+01	0.4023E+01	0.5000E+00	0.1000E+00
13	0.1200E+01	0.5190E+01	0.4273E+01	0.1000E+01	0.2000E+00
14	0.1300E+01	0.5545E+01	0.4545E+01	0.1500E+01	0.3000E+00
15	0.1400E+01	0.5927E+01	0.4840E+01	0.2000E+01	0.4000E+00
16	0.1500E+01	0.6340E+01	0.5161E+01	0.2500E+01	0.5000E+00
17	0.1600E+01	0.6785E+01	0.5509E+01	0.3000E+01	0.6000E+00
18	0.1700E+01	0.7264E+01	0.5884E+01	0.3500E+01	0.7000E+00
19	0.1800E+01	0.7778E+01	0.6288E+01	0.4000E+01	0.8000E+00
20	0.1900E+01	0.8328E+01	0.6723E+01	0.4500E+01	0.9000E+00
21	0.2000E+01	0.8917E+01	0.7188E+01	0.5000E+01	0.1000E+01
22	0.2100E+01	0.9545E+01	0.7685E+01	0.5500E+01	0.1100E+01
23	0.2200E+01	0.1021E+02	0.8215E+01	0.6000E+01	0.1200E+01
24	0.2300E+01	0.1092E+02	0.8778E+01	0.6500E+01	0.1300E+01
25	0.2400E+01	0.1167E+02	0.9376E+01	0.7000E+01	0.1400E+01
26	0.2500E+01	0.1247E+02	0.1001E+02	0.7500E+01	0.1500E+01
27	0.2600E+01	0.1331E+02	0.1067E+02	0.8000E+01	0.1600E+01
28	0.2700E+01	0.1419E+02	0.1138E+02	0.8500E+01	0.1700E+01
29	0.2800E+01	0.1511E+02	0.1212E+02	0.9000E+01	0.1800E+01
30	0.2900E+01	0.1608E+02	0.1289E+02	0.9500E+01	0.1900E+01
31	0.3000E+02	0.1710E+02	0.1370E+02	0.1000E+02	0.2000E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.1503E+02, \tilde{a}_{12} = 0.1885E+02, \tilde{b}_{11} = 0.9469E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1123E+02, \tilde{a}_{22} = 0.1409E+02, \tilde{b}_{22} = 0.3777E+01. \end{aligned} \quad (5.2C)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 05$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.1502E+02, \tilde{a}_{12} = 0.1885E+02, \tilde{b}_{11} = 0.9467E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1123E+02, \tilde{a}_{22} = 0.1409E+02, \tilde{b}_{22} = 0.3776E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (5.3C)$$

Вариант 6С

Таблица 6.1С – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.9313E-08	0.0000E+00	0.5000E+01	0.1000E+01
2	0.1000E-01	0.5030E-01	0.4020E-01	0.4950E+01	0.9900E+00
3	0.2000E-01	0.1012E+00	0.8083E-01	0.4901E+01	0.9802E+00
4	0.3000E-01	0.1528E+00	0.1219E+00	0.4852E+01	0.9704E+00
5	0.4000E-01	0.2051E+00	0.1635E+00	0.4804E+01	0.9608E+00
6	0.5000E-01	0.2581E+00	0.2055E+00	0.4756E+01	0.9512E+00
7	0.6000E-01	0.3118E+00	0.2481E+00	0.4709E+01	0.9418E+00
8	0.7000E-01	0.3663E+00	0.2912E+00	0.4662E+01	0.9324E+00
9	0.8000E-01	0.4216E+00	0.3349E+00	0.4616E+01	0.9231E+00
10	0.9000E-01	0.4777E+00	0.3791E+00	0.4570E+01	0.9139E+00
11	0.1000E+00	0.5346E+00	0.4241E+00	0.4524E+01	0.9048E+00
12	0.1100E+00	0.5925E+00	0.4696E+00	0.4479E+01	0.8958E+00
13	0.1200E+00	0.6513E+00	0.5158E+00	0.4435E+01	0.8869E+00
14	0.1300E+00	0.7110E+00	0.5628E+00	0.4390E+01	0.8781E+00
15	0.1400E+00	0.7717E+00	0.6104E+00	0.4347E+01	0.8694E+00
16	0.1500E+00	0.8334E+00	0.6588E+00	0.4304E+01	0.8607E+00
17	0.1600E+00	0.8962E+00	0.7080E+00	0.4261E+01	0.8521E+00
18	0.1700E+00	0.9600E+00	0.7580E+00	0.4218E+01	0.8437E+00
19	0.1800E+00	0.1025E+01	0.8088E+00	0.4176E+01	0.8353E+00
20	0.1900E+00	0.1091E+01	0.8605E+00	0.4135E+01	0.8270E+00
21	0.2000E+00	0.1158E+01	0.9131E+00	0.4094E+01	0.8187E+00
22	0.2100E+00	0.1227E+01	0.9667E+00	0.4053E+01	0.8106E+00
23	0.2200E+00	0.1297E+01	0.1021E+01	0.4013E+01	0.8025E+00
24	0.2300E+00	0.1368E+01	0.1077E+01	0.3973E+01	0.7945E+00
25	0.2400E+00	0.1440E+01	0.1133E+01	0.3933E+01	0.7866E+00
26	0.2500E+00	0.1514E+01	0.1191E+01	0.3894E+01	0.7788E+00
27	0.2600E+00	0.1589E+01	0.1249E+01	0.3855E+01	0.7711E+00
28	0.2700E+00	0.1666E+01	0.1309E+01	0.3817E+01	0.7634E+00
29	0.2800E+00	0.1744E+01	0.1370E+01	0.3779E+01	0.7558E+00
30	0.2900E+00	0.1824E+01	0.1432E+01	0.3741E+01	0.7483E+00
31	0.3000E+00	0.1905E+01	0.1495E+01	0.3704E+01	0.7408E+00

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.1050E+02, \tilde{a}_{12} = -0.1032E+02, \tilde{b}_{11} = 0.1006E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= 0.1185E+02, \tilde{a}_{22} = -0.1277E+02, \tilde{b}_{22} = 0.4021E+01. \end{aligned} \quad (6.2C)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 08$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.1050E+02, \tilde{a}_{12} = -0.1032E+02, \tilde{b}_{11} = 0.1006E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= 0.1185E+02, \tilde{a}_{22} = -0.1278E+02, \tilde{b}_{22} = 0.4021E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (6.3C)$$

3) Метод стохастической аппроксимации ($\alpha = 1.0$).

Вариант 7С

Таблица 7.1С – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.1000E+01	-0.1300E+02	0.1000E+01	0.1000E+01
2	0.1000E-01	0.9884E+00	-0.1320E+02	0.9900E+00	0.1010E+01
3	0.2000E-01	0.9732E+00	-0.1339E+02	0.9802E+00	0.1020E+01
4	0.3000E-01	0.9542E+00	-0.1357E+02	0.9704E+00	0.1030E+01
5	0.4000E-01	0.9310E+00	-0.1374E+02	0.9608E+00	0.1041E+01
6	0.5000E-01	0.9033E+00	-0.1390E+02	0.9512E+00	0.1051E+01
7	0.6000E-01	0.8705E+00	-0.1405E+02	0.9418E+00	0.1062E+01
8	0.7000E-01	0.8324E+00	-0.1419E+02	0.9324E+00	0.1073E+01
9	0.8000E-01	0.7884E+00	-0.1431E+02	0.9231E+00	0.1083E+01
10	0.9000E-01	0.7380E+00	-0.1441E+02	0.9139E+00	0.1094E+01
11	0.1000E+00	0.6806E+00	-0.1449E+02	0.9048E+00	0.1105E+01
12	0.1100E+00	0.6157E+00	-0.1455E+02	0.8958E+00	0.1116E+01
13	0.1200E+00	0.5427E+00	-0.1459E+02	0.8869E+00	0.1127E+01
14	0.1300E+00	0.4609E+00	-0.1459E+02	0.8781E+00	0.1139E+01
15	0.1400E+00	0.3695E+00	-0.1457E+02	0.8694E+00	0.1150E+01
16	0.1500E+00	0.2679E+00	-0.1451E+02	0.8607E+00	0.1162E+01
17	0.1600E+00	0.1551E+00	-0.1442E+02	0.8521E+00	0.1174E+01
18	0.1700E+00	0.3031E-01	-0.1429E+02	0.8437E+00	0.1185E+01
19	0.1800E+00	-0.1074E+00	-0.1411E+02	0.8353E+00	0.1197E+01
20	0.1900E+00	-0.2591E+00	-0.1388E+02	0.8270E+00	0.1209E+01
21	0.2000E+00	-0.4259E+00	-0.1360E+02	0.8187E+00	0.1221E+01
22	0.2100E+00	-0.6088E+00	-0.1326E+02	0.8106E+00	0.1234E+01
23	0.2200E+00	-0.8092E+00	-0.1286E+02	0.8025E+00	0.1246E+01
24	0.2300E+00	-0.1028E+01	-0.1238E+02	0.7945E+00	0.1259E+01
25	0.2400E+00	-0.1268E+01	-0.1184E+02	0.7866E+00	0.1271E+01
26	0.2500E+00	-0.1529E+01	-0.1121E+02	0.7788E+00	0.1284E+01
27	0.2600E+00	-0.1813E+01	-0.1049E+02	0.7711E+00	0.1297E+01
28	0.2700E+00	-0.2123E+01	-0.9673E+01	0.7634E+00	0.1310E+01
29	0.2800E+00	-0.2459E+01	-0.8754E+01	0.7558E+00	0.1323E+01
30	0.2900E+00	-0.2824E+01	-0.7721E+01	0.7483E+00	0.1336E+01
31	0.3000E+00	-0.3221E+01	-0.6566E+01	0.7408E+00	0.1350E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.1144E+02, \tilde{a}_{12} = 0.1049E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1024E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.3681E+02, \tilde{a}_{22} = -0.1171E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1909E+01. \end{aligned} \quad (7.2C)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 08$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.1144E+02, \tilde{a}_{12} = 0.1049E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1025E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.3682E+02, \tilde{a}_{22} = -0.1174E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1878E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (7.3C)$$

Вариант 8С

Таблица 8.1С – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.0000E+00	-0.1000E+01	0.1000E+01	0.1000E+01
2	0.1000E-01	-0.2552E-03	-0.1051E+01	0.1000E+01	0.1000E+01
3	0.2000E-01	-0.1042E-02	-0.1104E+01	0.9998E+00	0.9998E+00
4	0.3000E-01	-0.2395E-02	-0.1159E+01	0.9996E+00	0.9996E+00
5	0.4000E-01	-0.4348E-02	-0.1217E+01	0.9992E+00	0.9992E+00
6	0.5000E-01	-0.6939E-02	-0.1277E+01	0.9988E+00	0.9988E+00
7	0.6000E-01	-0.1021E-01	-0.1340E+01	0.9982E+00	0.9982E+00
8	0.7000E-01	-0.1419E-01	-0.1405E+01	0.9976E+00	0.9976E+00
9	0.8000E-01	-0.1893E-01	-0.1473E+01	0.9968E+00	0.9968E+00
10	0.9000E-01	-0.2448E-01	-0.1544E+01	0.9960E+00	0.9960E+00
11	0.1000E+00	-0.3089E-01	-0.1618E+01	0.9950E+00	0.9950E+00
12	0.1100E+00	-0.3819E-01	-0.1695E+01	0.9940E+00	0.9940E+00
13	0.1200E+00	-0.4646E-01	-0.1776E+01	0.9928E+00	0.9928E+00
14	0.1300E+00	-0.5573E-01	-0.1860E+01	0.9916E+00	0.9916E+00
15	0.1400E+00	-0.6607E-01	-0.1948E+01	0.9902E+00	0.9902E+00
16	0.1500E+00	-0.7754E-01	-0.2039E+01	0.9888E+00	0.9888E+00
17	0.1600E+00	-0.9021E-01	-0.2135E+01	0.9872E+00	0.9872E+00
18	0.1700E+00	-0.1041E+00	-0.2236E+01	0.9856E+00	0.9856E+00
19	0.1800E+00	-0.1194E+00	-0.2340E+01	0.9838E+00	0.9838E+00
20	0.1900E+00	-0.1361E+00	-0.2450E+01	0.9820E+00	0.9820E+00
21	0.2000E+00	-0.1542E+00	-0.2564E+01	0.9801E+00	0.9801E+00
22	0.2100E+00	-0.1739E+00	-0.2684E+01	0.9780E+00	0.9780E+00
23	0.2200E+00	-0.1953E+00	-0.2809E+01	0.9759E+00	0.9759E+00
24	0.2300E+00	-0.2184E+00	-0.2940E+01	0.9737E+00	0.9737E+00
25	0.2400E+00	-0.2434E+00	-0.3077E+01	0.9713E+00	0.9713E+00
26	0.2500E+00	-0.2703E+00	-0.3220E+01	0.9689E+00	0.9689E+00
27	0.2600E+00	-0.2993E+00	-0.3370E+01	0.9664E+00	0.9664E+00
28	0.2700E+00	-0.3304E+00	-0.3527E+01	0.9638E+00	0.9638E+00
29	0.2800E+00	-0.3638E+00	-0.3691E+01	0.9611E+00	0.9611E+00
30	0.2900E+00	-0.3996E+00	-0.3864E+01	0.9582E+00	0.9582E+00
31	0.3000E+00	-0.4379E+00	-0.4044E+01	0.9553E+00	0.9553E+00

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.2032E+01, \tilde{a}_{12} = 0.1031E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1006E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= 0.3095E+01, \tilde{a}_{22} = 0.4096E+01, \tilde{b}_{22} = -0.1006E+01. \end{aligned} \quad (8.2C)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.2031E+01, \tilde{a}_{12} = 0.1032E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1006E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= 0.3095E+01, \tilde{a}_{22} = 0.4096E+01, \tilde{b}_{22} = -0.1006E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (8.3C)$$

Вариант 9С

Таблица 9.1С – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.1000E+01	0.1000E+01	0.0000E+00	-0.1000E+01
2	0.1047E+00	0.1204E+01	0.5817E+00	0.1045E+00	-0.7853E+00
3	0.2094E+00	0.1395E+01	0.1668E+00	0.2079E+00	-0.5608E+00
4	0.3142E+00	0.1574E+01	-0.2412E+00	0.3090E+00	-0.3279E+00
5	0.4189E+00	0.1739E+01	-0.6391E+00	0.4067E+00	-0.8793E-01
6	0.5236E+00	0.1890E+01	-0.1024E+01	0.5000E+00	0.1576E+00
7	0.6283E+00	0.2025E+01	-0.1392E+01	0.5878E+00	0.4071E+00
8	0.7330E+00	0.2145E+01	-0.1740E+01	0.6691E+00	0.6590E+00
9	0.8378E+00	0.2250E+01	-0.2067E+01	0.7431E+00	0.9118E+00
10	0.9425E+00	0.2339E+01	-0.2370E+01	0.8090E+00	0.1164E+01
11	0.1047E+01	0.2413E+01	-0.2645E+01	0.8660E+00	0.1413E+01
12	0.1152E+01	0.2472E+01	-0.2893E+01	0.9135E+00	0.1659E+01
13	0.1257E+01	0.2517E+01	-0.3110E+01	0.9511E+00	0.1899E+01
14	0.1361E+01	0.2547E+01	-0.3296E+01	0.9781E+00	0.2132E+01
15	0.1466E+01	0.2565E+01	-0.3450E+01	0.9945E+00	0.2356E+01
16	0.1571E+01	0.2571E+01	-0.3571E+01	0.1000E+01	0.2571E+01
17	0.1676E+01	0.2566E+01	-0.3659E+01	0.9945E+00	0.2775E+01
18	0.1780E+01	0.2550E+01	-0.3715E+01	0.9781E+00	0.2966E+01
19	0.1885E+01	0.2527E+01	-0.3738E+01	0.9511E+00	0.3145E+01
20	0.1990E+01	0.2496E+01	-0.3730E+01	0.9135E+00	0.3310E+01
21	0.2094E+01	0.2460E+01	-0.3692E+01	0.8660E+00	0.3460E+01
22	0.2199E+01	0.2420E+01	-0.3626E+01	0.8090E+00	0.3596E+01
23	0.2304E+01	0.2378E+01	-0.3533E+01	0.7431E+00	0.3716E+01
24	0.2409E+01	0.2335E+01	-0.3416E+01	0.6691E+00	0.3821E+01
25	0.2513E+01	0.2292E+01	-0.3277E+01	0.5878E+00	0.3910E+01
26	0.2618E+01	0.2252E+01	-0.3118E+01	0.5000E+00	0.3984E+01
27	0.2723E+01	0.2216E+01	-0.2943E+01	0.4067E+00	0.4043E+01
28	0.2827E+01	0.2185E+01	-0.2754E+01	0.3090E+00	0.4088E+01
29	0.2932E+01	0.2162E+01	-0.2556E+01	0.2079E+00	0.4118E+01
30	0.3037E+01	0.2147E+01	-0.2350E+01	0.1045E+00	0.4136E+01
31	0.3142E+01	0.2142E+01	-0.2142E+01	0.5359E-07	0.4142E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.9837E+00, \tilde{a}_{12} = 0.9543E+00, \tilde{b}_{11} = 0.8281E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1988E+01, \tilde{a}_{22} = -0.1039E+01, \tilde{b}_{22} = 0.9741E+00. \end{aligned} \quad (9.2C)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.9837E+00, \tilde{a}_{12} = 0.9543E+00, \tilde{b}_{11} = 0.8281E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1988E+01, \tilde{a}_{22} = -0.1039E+01, \tilde{b}_{22} = 0.9741E+00, (r = 30). \end{aligned} \quad (9.3C)$$

Вариант 10С

Таблица 10.1С – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.1000E+01	-0.5000E+01	0.1000E+01	0.5000E+01
2	0.5236E-01	0.8511E+00	-0.4540E+01	0.9986E+00	0.4897E+01
3	0.1047E+00	0.7182E+00	-0.4101E+01	0.9945E+00	0.4796E+01
4	0.1571E+00	0.6008E+00	-0.3683E+01	0.9877E+00	0.4698E+01
5	0.2094E+00	0.4987E+00	-0.3286E+01	0.9781E+00	0.4601E+01
6	0.2618E+00	0.4112E+00	-0.2909E+01	0.9659E+00	0.4507E+01
7	0.3142E+00	0.3381E+00	-0.2552E+01	0.9511E+00	0.4415E+01
8	0.3665E+00	0.2788E+00	-0.2215E+01	0.9336E+00	0.4325E+01
9	0.4189E+00	0.2330E+00	-0.1896E+01	0.9135E+00	0.4237E+01
10	0.4712E+00	0.2002E+00	-0.1597E+01	0.8910E+00	0.4149E+01
11	0.5236E+00	0.1799E+00	-0.1316E+01	0.8660E+00	0.4063E+01
12	0.5760E+00	0.1718E+00	-0.1052E+01	0.8387E+00	0.3978E+01
13	0.6283E+00	0.1754E+00	-0.8067E+00	0.8090E+00	0.3894E+01
14	0.6807E+00	0.1902E+00	-0.5783E+00	0.7771E+00	0.3810E+01
15	0.7330E+00	0.2160E+00	-0.3669E+00	0.7431E+00	0.3727E+01
16	0.7854E+00	0.2521E+00	-0.1721E+00	0.7071E+00	0.3644E+01
17	0.8378E+00	0.2983E+00	0.6404E-02	0.6691E+00	0.3561E+01
18	0.8901E+00	0.3540E+00	0.1690E+00	0.6293E+00	0.3477E+01
19	0.9425E+00	0.4188E+00	0.3159E+00	0.5878E+00	0.3394E+01
20	0.9948E+00	0.4923E+00	0.4475E+00	0.5446E+00	0.3310E+01
21	0.1047E+01	0.5741E+00	0.5642E+00	0.5000E+00	0.3224E+01
22	0.1100E+01	0.6637E+00	0.6661E+00	0.4540E+00	0.3138E+01
23	0.1152E+01	0.7607E+00	0.7537E+00	0.4067E+00	0.3051E+01
24	0.1204E+01	0.8647E+00	0.8271E+00	0.3584E+00	0.2962E+01
25	0.1257E+01	0.9753E+00	0.8868E+00	0.3090E+00	0.2872E+01
26	0.1309E+01	0.1092E+01	0.9330E+00	0.2588E+00	0.2780E+01
27	0.1361E+01	0.1214E+01	0.9660E+00	0.2079E+00	0.2686E+01
28	0.1414E+01	0.1342E+01	0.9861E+00	0.1564E+00	0.2590E+01
29	0.1466E+01	0.1474E+01	0.9935E+00	0.1045E+00	0.2492E+01
30	0.1518E+01	0.1611E+01	0.9887E+00	0.5234E-01	0.2391E+01
31	0.1571E+01	0.1752E+0	0.9718E+00	0.2679E-07	0.2288E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.1020E+01, \tilde{a}_{12} = 0.9980E+00, \tilde{b}_{11} = 0.1125E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1007E+01, \tilde{a}_{22} = -0.1001E+01, \tilde{b}_{22} = 0.9580E+00. \end{aligned} \quad (10.2C)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.1020E+01, \tilde{a}_{12} = 0.9980E+00, \tilde{b}_{11} = 0.1125E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1007E+01, \tilde{a}_{22} = -0.1001E+01, \tilde{b}_{22} = 0.9580E+00. (r = 30). \end{aligned} \quad (10.3C)$$

Вариант 11С

Таблица 11.1С – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	-0.1000E+01	0.1000E+01	0.1000E+01	0.0000E+00
2	0.8333E-01	-0.9130E+00	0.1084E+01	0.1090E+01	0.9365E-01
3	0.1667E+00	-0.8179E+00	0.1168E+01	0.1194E+01	0.2075E+00
4	0.2500E+00	-0.7137E+00	0.1255E+01	0.1310E+01	0.3410E+00
5	0.3333E+00	-0.5993E+00	0.1344E+01	0.1438E+01	0.4933E+00
6	0.4167E+00	-0.4737E+00	0.1437E+01	0.1578E+01	0.6639E+00
7	0.5000E+00	-0.3359E+00	0.1534E+01	0.1729E+01	0.8518E+00
8	0.5833E+00	-0.1851E+00	0.1635E+01	0.1891E+01	0.1056E+01
9	0.6667E+00	-0.2046E-01	0.1741E+01	0.2063E+01	0.1277E+01
10	0.7500E+00	0.1589E+00	0.1851E+01	0.2244E+01	0.1512E+01
11	0.8333E+00	0.3538E+00	0.1966E+01	0.2435E+01	0.1762E+01
12	0.9167E+00	0.5649E+00	0.2086E+01	0.2634E+01	0.2025E+01
13	0.1000E+01	0.7930E+00	0.2210E+01	0.2841E+01	0.2301E+01
14	0.1083E+01	0.1039E+01	0.2337E+01	0.3057E+01	0.2589E+01
15	0.1167E+01	0.1303E+01	0.2468E+01	0.3281E+01	0.2887E+01
16	0.1250E+01	0.1586E+01	0.2601E+01	0.3511E+01	0.3196E+01
17	0.1333E+01	0.1888E+01	0.2736E+01	0.3750E+01	0.3514E+01
18	0.1417E+01	0.2211E+01	0.2872E+01	0.3995E+01	0.3842E+01
19	0.1500E+01	0.2554E+01	0.3007E+01	0.4247E+01	0.4177E+01
20	0.1583E+01	0.2919E+01	0.3142E+01	0.4507E+01	0.4519E+01
21	0.1667E+01	0.3306E+01	0.3274E+01	0.4773E+01	0.4869E+01
22	0.1750E+01	0.3715E+01	0.3402E+01	0.5046E+01	0.5225E+01
23	0.1833E+01	0.4147E+01	0.3525E+01	0.5327E+01	0.5586E+01
24	0.1917E+01	0.4603E+01	0.3641E+01	0.5614E+01	0.5953E+01
25	0.2000E+01	0.5083E+01	0.3749E+01	0.5909E+01	0.6325E+01
26	0.2083E+01	0.5588E+01	0.3848E+01	0.6212E+01	0.6702E+01
27	0.2167E+01	0.6118E+01	0.3935E+01	0.6522E+01	0.7083E+01
28	0.2250E+01	0.6675E+01	0.4008E+01	0.6841E+01	0.7469E+01
29	0.2333E+01	0.7259E+01	0.4066E+01	0.7168E+01	0.7858E+01
30	0.2417E+01	0.7870E+01	0.4107E+01	0.7503E+01	0.8252E+01
31	0.2500E+01	0.8509E+01	0.4129E+01	0.7848E+01	0.8650E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.1518E-01, \tilde{a}_{12} = 0.9318E-02, \tilde{b}_{11} = 0.1033E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1063E+01, \tilde{a}_{22} = -0.3608E-01, \tilde{b}_{22} = 0.1063E+01. \end{aligned} \quad (11.2C)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E-06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.1234E-01, \tilde{a}_{12} = 0.2132E-01, \tilde{b}_{11} = 0.1023E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1067E+01, \tilde{a}_{22} = -0.4002E-01, \tilde{b}_{22} = 0.1068E+01. (r = 30). \end{aligned} \quad (11.3C)$$

Вариант 12С

Таблица 12.1С – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	-0.2000E+01	-0.4000E+01	0.0000E+00	0.0000E+00
2	0.5236E-01	-0.1902E+01	-0.3905E+01	-0.1598E+00	-0.5419E-01
3	0.1047E+00	-0.1817E+01	-0.3828E+01	-0.3251E+00	-0.1120E+00
4	0.1571E+00	-0.1746E+01	-0.3770E+01	-0.4959E+00	-0.1735E+00
5	0.2094E+00	-0.1686E+01	-0.3729E+01	-0.6722E+00	-0.2387E+00
6	0.2618E+00	-0.1639E+01	-0.3705E+01	-0.8539E+00	-0.3075E+00
7	0.3142E+00	-0.1604E+01	-0.3698E+01	-0.1041E+01	-0.3800E+00
8	0.3665E+00	-0.1580E+01	-0.3708E+01	-0.1234E+01	-0.4561E+00
9	0.4189E+00	-0.1568E+01	-0.3733E+01	-0.1432E+01	-0.5359E+00
10	0.4712E+00	-0.1566E+01	-0.3775E+01	-0.1636E+01	-0.6193E+00
11	0.5236E+00	-0.1575E+01	-0.3831E+01	-0.1845E+01	-0.7064E+00
12	0.5760E+00	-0.1594E+01	-0.3903E+01	-0.2060E+01	-0.7971E+00
13	0.6283E+00	-0.1624E+01	-0.3989E+01	-0.2280E+01	-0.8915E+00
14	0.6807E+00	-0.1663E+01	-0.4091E+01	-0.2505E+01	-0.9896E+00
15	0.7330E+00	-0.1712E+01	-0.4206E+01	-0.2736E+01	-0.1091E+01
16	0.7854E+00	-0.1770E+01	-0.4336E+01	-0.2973E+01	-0.1197E+01
17	0.8378E+00	-0.1838E+01	-0.4480E+01	-0.3215E+01	-0.1306E+01
18	0.8901E+00	-0.1914E+01	-0.4638E+01	-0.3463E+01	-0.1418E+01
19	0.9425E+00	-0.2000E+01	-0.4810E+01	-0.3716E+01	-0.1535E+01
20	0.9948E+00	-0.2094E+01	-0.4996E+01	-0.3974E+01	-0.1655E+01
21	0.1047E+01	-0.2197E+01	-0.5195E+01	-0.4238E+01	-0.1778E+01
22	0.1100E+01	-0.2308E+01	-0.5408E+01	-0.4508E+01	-0.1906E+01
23	0.1152E+01	-0.2427E+01	-0.5635E+01	-0.4783E+01	-0.2037E+01
24	0.1204E+01	-0.2554E+01	-0.5876E+01	-0.5063E+01	-0.2171E+01
25	0.1257E+01	-0.2690E+01	-0.6130E+01	-0.5349E+01	-0.2309E+01
26	0.1309E+01	-0.2833E+01	-0.6398E+01	-0.5640E+01	-0.2451E+01
27	0.1361E+01	-0.2984E+01	-0.6680E+01	-0.5937E+01	-0.2597E+01
28	0.1414E+01	-0.3142E+01	-0.6976E+01	-0.6240E+01	-0.2746E+01
29	0.1466E+01	-0.3308E+01	-0.7286E+01	-0.6548E+01	-0.2899E+01
30	0.1518E+01	-0.3481E+01	-0.7611E+01	-0.6861E+01	-0.3056E+01
31	0.1571E+01	-0.3662E+01	-0.7950E+01	-0.7180E+01	-0.3216E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.1090E+01, \tilde{a}_{12} = 0.7671E - 01, \tilde{b}_{11} = 0.9708E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.3068E+01, \tilde{a}_{22} = 0.1079E+01, \tilde{b}_{22} = 0.2926E+01. \end{aligned} \quad (12.2C)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.1090E+01, \tilde{a}_{12} = 0.7671E - 01, \tilde{b}_{11} = 0.9708E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.3068E+01, \tilde{a}_{22} = 0.1079E+01, \tilde{b}_{22} = 0.2926E+01. (r = 30). \end{aligned} \quad (12.3C)$$

Вариант 13С

Таблица 13.1С – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	-0.6667E+00	-0.2000E+01	0.1000E+01	0.3333E+00
2	0.5236E-01	-0.7923E+00	-0.2158E+01	0.8415E+00	0.2796E+00
3	0.1047E+00	-0.9244E+00	-0.2318E+01	0.6802E+00	0.2231E+00
4	0.1571E+00	-0.1062E+01	-0.2478E+01	0.5158E+00	0.1637E+00
5	0.2094E+00	-0.1204E+01	-0.2637E+01	0.3483E+00	0.1015E+00
6	0.2618E+00	-0.1349E+01	-0.2794E+01	0.1775E+00	0.3633E-01
7	0.3142E+00	-0.1497E+01	-0.2948E+01	0.3388E-02	-0.3177E-01
8	0.3665E+00	-0.1647E+01	-0.3097E+01	-0.1742E+00	-0.1029E+00
9	0.4189E+00	-0.1798E+01	-0.3242E+01	-0.3554E+00	-0.1770E+00
10	0.4712E+00	-0.1950E+01	-0.3381E+01	-0.5403E+00	-0.2541E+00
11	0.5236E+00	-0.2100E+01	-0.3513E+01	-0.7290E+00	-0.3344E+00
12	0.5760E+00	-0.2250E+01	-0.3638E+01	-0.9215E+00	-0.4177E+00
13	0.6283E+00	-0.2397E+01	-0.3754E+01	-0.1118E+01	-0.5042E+00
14	0.6807E+00	-0.2542E+01	-0.3862E+01	-0.1318E+01	-0.5939E+00
15	0.7330E+00	-0.2683E+01	-0.3961E+01	-0.1523E+01	-0.6868E+00
16	0.7854E+00	-0.2822E+01	-0.4051E+01	-0.1732E+01	-0.7829E+00
17	0.8378E+00	-0.2956E+01	-0.4131E+01	-0.1945E+01	-0.8822E+00
18	0.8901E+00	-0.3085E+01	-0.4202E+01	-0.2162E+01	-0.9847E+00
19	0.9425E+00	-0.3210E+01	-0.4262E+01	-0.2384E+01	-0.1091E+01
20	0.9948E+00	-0.3329E+01	-0.4313E+01	-0.2610E+01	-0.1200E+01
21	0.1047E+01	-0.3443E+01	-0.4354E+01	-0.2840E+01	-0.1312E+01
22	0.1100E+01	-0.3552E+01	-0.4386E+01	-0.3075E+01	-0.1428E+01
23	0.1152E+01	-0.3655E+01	-0.4408E+01	-0.3315E+01	-0.1547E+01
24	0.1204E+01	-0.3753E+01	-0.4422E+01	-0.3559E+01	-0.1670E+01
25	0.1257E+01	-0.3845E+01	-0.4427E+01	-0.3808E+01	-0.1796E+01
26	0.1309E+01	-0.3932E+01	-0.4425E+01	-0.4061E+01	-0.1925E+01
27	0.1361E+01	-0.4014E+01	-0.4415E+01	-0.4320E+01	-0.2058E+01
28	0.1414E+01	-0.4090E+01	-0.4399E+01	-0.4583E+01	-0.2194E+01
29	0.1466E+01	-0.4162E+01	-0.4377E+01	-0.4851E+01	-0.2333E+01
30	0.1518E+01	-0.4230E+01	-0.4351E+01	-0.5123E+01	-0.2476E+01
31	0.1571E+01	-0.4294E+01	-0.4320E+01	-0.5401E+01	-0.2623E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.4364E+01, \tilde{a}_{12} = 0.3192E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1129E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.6341E+01, \tilde{a}_{22} = 0.4158E+01, \tilde{b}_{22} = 0.3295E+01. \end{aligned} \quad (13.2C)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.4364E+01, \tilde{a}_{12} = 0.3192E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1129E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.6341E+01, \tilde{a}_{22} = 0.4158E+01, \tilde{b}_{22} = 0.3295E+01. (r = 30). \end{aligned} \quad (13.3C)$$

Вариант 14С

Таблица 14.1С – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	-0.1698E+01	-0.3498E+01	0.0000E+00	0.0000E+00
2	0.1047E+00	-0.2205E+01	-0.4255E+01	-0.1157E+00	-0.4222E-01
3	0.2094E+00	-0.2763E+01	-0.5069E+01	-0.2533E+00	-0.9906E-01
4	0.3142E+00	-0.3370E+01	-0.5936E+01	-0.4129E+00	-0.1705E+00
5	0.4189E+00	-0.4024E+01	-0.6854E+01	-0.5943E+00	-0.2566E+00
6	0.5236E+00	-0.4725E+01	-0.7818E+01	-0.7978E+00	-0.3573E+00
7	0.6283E+00	-0.5468E+01	-0.8822E+01	-0.1023E+01	-0.4726E+00
8	0.7330E+00	-0.6251E+01	-0.9861E+01	-0.1270E+01	-0.6026E+00
9	0.8378E+00	-0.7070E+01	-0.1093E+02	-0.1540E+01	-0.7471E+00
10	0.9425E+00	-0.7919E+01	-0.1201E+02	-0.1831E+01	-0.9063E+00
11	0.1047E+01	-0.8793E+01	-0.1311E+02	-0.2144E+01	-0.1080E+01
12	0.1152E+01	-0.9685E+01	-0.1420E+02	-0.2479E+01	-0.1269E+01
13	0.1257E+01	-0.1059E+02	-0.1527E+02	-0.2836E+01	-0.1472E+01
14	0.1361E+01	-0.1149E+02	-0.1633E+02	-0.3215E+01	-0.1689E+01
15	0.1466E+01	-0.1239E+02	-0.1734E+02	-0.3615E+01	-0.1922E+01
16	0.1571E+01	-0.1327E+02	-0.1829E+02	-0.4038E+01	-0.2169E+01
17	0.1676E+01	-0.1413E+02	-0.1917E+02	-0.4483E+01	-0.2430E+01
18	0.1780E+01	-0.1494E+02	-0.1996E+02	-0.4949E+01	-0.2706E+01
19	0.1885E+01	-0.1571E+02	-0.2064E+02	-0.5438E+01	-0.2997E+01
20	0.1990E+01	-0.1641E+02	-0.2120E+02	-0.5948E+01	-0.3302E+01
21	0.2094E+01	-0.1703E+02	-0.2161E+02	-0.6481E+01	-0.3622E+01
22	0.2199E+01	-0.1755E+02	-0.2186E+02	-0.7035E+01	-0.3957E+01
23	0.2304E+01	-0.1797E+02	-0.2192E+02	-0.7611E+01	-0.4306E+01
24	0.2409E+01	-0.1827E+02	-0.2178E+02	-0.8210E+01	-0.4670E+01
25	0.2513E+01	-0.1844E+02	-0.2143E+02	-0.8830E+01	-0.5049E+01
26	0.2618E+01	-0.1845E+02	-0.2083E+02	-0.9472E+01	-0.5442E+01
27	0.2723E+01	-0.1830E+02	-0.1998E+02	-0.1014E+02	-0.5850E+01
28	0.2827E+01	-0.1797E+02	-0.1886E+02	-0.1082E+02	-0.6272E+01
29	0.2932E+01	-0.1745E+02	-0.1747E+02	-0.1153E+02	-0.6709E+01
30	0.3037E+01	-0.1674E+02	-0.1578E+02	-0.1226E+02	-0.7161E+01
31	0.3142E+01	-0.1581E+02	-0.1381E+02	-0.1301E+02	-0.7627E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.4929E+01, \tilde{a}_{12} = 0.3768E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1159E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.8339E+01, \tilde{a}_{22} = 0.6112E+01, \tilde{b}_{22} = 0.3384E+01. \end{aligned} \quad (14.2C)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.4929E+01, \tilde{a}_{12} = 0.3768E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1159E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.8339E+01, \tilde{a}_{22} = 0.6112E+01, \tilde{b}_{22} = 0.3384E+01. (r = 30). \end{aligned} \quad (14.3C)$$

Вариант 15С

Таблица 15.1С – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.1486E+01	0.4861E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
2	0.5236E-01	0.1083E+01	-0.3963E-01	-0.5513E-01	-0.1929E-01
3	0.1047E+00	0.6630E+00	-0.5679E+00	-0.1159E+00	-0.4228E-01
4	0.1571E+00	0.2303E+00	-0.1092E+01	-0.1824E+00	-0.6902E-01
5	0.2094E+00	-0.2091E+00	-0.1605E+01	-0.2548E+00	-0.9957E-01
6	0.2618E+00	-0.6495E+00	-0.2100E+01	-0.3333E+00	-0.1340E+00
7	0.3142E+00	-0.1086E+01	-0.2572E+01	-0.4180E+00	-0.1722E+00
8	0.3665E+00	-0.1512E+01	-0.3015E+01	-0.5090E+00	-0.2144E+00
9	0.4189E+00	-0.1923E+01	-0.3423E+01	-0.6065E+00	-0.2606E+00
10	0.4712E+00	-0.2315E+01	-0.3792E+01	-0.7106E+00	-0.3109E+00
11	0.5236E+00	-0.2682E+01	-0.4117E+01	-0.8214E+00	-0.3652E+00
12	0.5760E+00	-0.3021E+01	-0.4396E+01	-0.9390E+00	-0.4236E+00
13	0.6283E+00	-0.3327E+01	-0.4625E+01	-0.1064E+01	-0.4861E+00
14	0.6807E+00	-0.3598E+01	-0.4803E+01	-0.1195E+01	-0.5529E+00
15	0.7330E+00	-0.3832E+01	-0.4928E+01	-0.1334E+01	-0.6239E+00
16	0.7854E+00	-0.4025E+01	-0.5001E+01	-0.1481E+01	-0.6991E+00
17	0.8378E+00	-0.4178E+01	-0.5020E+01	-0.1634E+01	-0.7787E+00
18	0.8901E+00	-0.4288E+01	-0.4988E+01	-0.1795E+01	-0.8626E+00
19	0.9425E+00	-0.4357E+01	-0.4907E+01	-0.1964E+01	-0.9508E+00
20	0.9948E+00	-0.4384E+01	-0.4779E+01	-0.2141E+01	-0.1043E+01
21	0.1047E+01	-0.4371E+01	-0.4608E+01	-0.2325E+01	-0.1141E+01
22	0.1100E+01	-0.4319E+01	-0.4397E+01	-0.2517E+01	-0.1242E+01
23	0.1152E+01	-0.4232E+01	-0.4152E+01	-0.2717E+01	-0.1348E+01
24	0.1204E+01	-0.4112E+01	-0.3878E+01	-0.2925E+01	-0.1459E+01
25	0.1257E+01	-0.3962E+01	-0.3580E+01	-0.3141E+01	-0.1573E+01
26	0.1309E+01	-0.3787E+01	-0.3264E+01	-0.3366E+01	-0.1693E+01
27	0.1361E+01	-0.3591E+01	-0.2938E+01	-0.3598E+01	-0.1817E+01
28	0.1414E+01	-0.3379E+01	-0.2606E+01	-0.3838E+01	-0.1946E+01
29	0.1466E+01	-0.3156E+01	-0.2277E+01	-0.4087E+01	-0.2079E+01
30	0.1518E+01	-0.2926E+01	-0.1957E+01	-0.4344E+01	-0.2217E+01
31	0.1571E+01	-0.2697E+01	-0.1652E+01	-0.4609E+01	-0.2359E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.7131E+01, \tilde{a}_{12} = 0.5998E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1093E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.8998E+01, \tilde{a}_{22} = 0.6872E+01, \tilde{b}_{22} = 0.3191E+01. \end{aligned} \quad (15.2C)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.7131E+01, \tilde{a}_{12} = 0.5998E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1093E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.8998E+01, \tilde{a}_{22} = 0.6872E+01, \tilde{b}_{22} = 0.3191E+01. (r = 30). \end{aligned} \quad (15.3C)$$

Вариант 16С

Таблица 16.1С – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.5000E+01	0.3000E+01	-0.2000E+01	0.0000E+00
2	0.5236E-01	0.4882E+01	0.2736E+01	-0.1780E+01	0.1045E+00
3	0.1047E+00	0.4737E+01	0.2467E+01	-0.1540E+01	0.2079E+00
4	0.1571E+00	0.4568E+01	0.2197E+01	-0.1284E+01	0.3090E+00
5	0.2094E+00	0.4376E+01	0.1925E+01	-0.1014E+01	0.4067E+00
6	0.2618E+00	0.4162E+01	0.1654E+01	-0.7321E+00	0.5000E+00
7	0.3142E+00	0.3928E+01	0.1385E+01	-0.4425E+00	0.5878E+00
8	0.3665E+00	0.3676E+01	0.1120E+01	-0.1480E+00	0.6691E+00
9	0.4189E+00	0.3409E+01	0.8603E+00	0.1480E+00	0.7431E+00
10	0.4712E+00	0.3128E+01	0.6078E+00	0.4425E+00	0.8090E+00
11	0.5236E+00	0.2835E+01	0.3638E+00	0.7321E+00	0.8660E+00
12	0.5760E+00	0.2534E+01	0.1300E+00	0.1014E+01	0.9135E+00
13	0.6283E+00	0.2226E+01	-0.9241E-01	0.1284E+01	0.9511E+00
14	0.6807E+00	0.1915E+01	-0.3019E+00	0.1540E+01	0.9781E+00
15	0.7330E+00	0.1602E+01	-0.4974E+00	0.1780E+01	0.9945E+00
16	0.7854E+00	0.1290E+01	-0.6776E+00	0.2000E+01	0.1000E+01
17	0.8378E+00	0.9810E+00	-0.8416E+00	0.2198E+01	0.9945E+00
18	0.8901E+00	0.6785E+00	-0.9884E+00	0.2372E+01	0.9781E+00
19	0.9425E+00	0.3843E+00	-0.1117E+01	0.2520E+01	0.9511E+00
20	0.9948E+00	0.1008E+00	-0.1228E+01	0.2641E+01	0.9135E+00
21	0.1047E+01	-0.1697E+00	-0.1319E+01	0.2732E+01	0.8660E+00
22	0.1100E+01	-0.4253E+00	-0.1391E+01	0.2794E+01	0.8090E+00
23	0.1152E+01	-0.6639E+00	-0.1444E+01	0.2825E+01	0.7431E+00
24	0.1204E+01	-0.8839E+00	-0.1477E+01	0.2825E+01	0.6691E+00
25	0.1257E+01	-0.1084E+01	-0.1492E+01	0.2794E+01	0.5878E+00
26	0.1309E+01	-0.1261E+01	-0.1487E+01	0.2732E+01	0.5000E+00
27	0.1361E+01	-0.1417E+01	-0.1464E+01	0.2641E+01	0.4067E+00
28	0.1414E+01	-0.1548E+01	-0.1424E+01	0.2520E+01	0.3090E+00
29	0.1466E+01	-0.1654E+01	-0.1367E+01	0.2372E+01	0.2079E+00
30	0.1518E+01	-0.1736E+01	-0.1295E+01	0.2198E+01	0.1045E+00
31	0.1571E+01	-0.1792E+01	-0.1208E+01	0.2000E+01	0.5359E-07

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.2072E+01, \tilde{a}_{12} = 0.2113E+01, \tilde{b}_{11} = -0.8917E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.8584E+00, \tilde{a}_{22} = -0.2779E+00, \tilde{b}_{22} = -0.2200E+01. \end{aligned} \quad (16.2C)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.2072E+01, \tilde{a}_{12} = 0.2113E+01, \tilde{b}_{11} = -0.8917E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.8584E+00, \tilde{a}_{22} = -0.2779E+00, \tilde{b}_{22} = -0.2200E+01. (r = 30). \end{aligned} \quad (16.3C)$$

Вариант 17С

Таблица 17.1С – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.1900E+02	-0.7000E+01	0.7000E+01	0.7000E+01
2	0.5000E-01	0.1855E+02	-0.6900E+01	0.6753E+01	0.6753E+01
3	0.1000E+00	0.1811E+02	-0.6800E+01	0.6510E+01	0.6510E+01
4	0.1500E+00	0.1767E+02	-0.6700E+01	0.6272E+01	0.6272E+01
5	0.2000E+00	0.1724E+02	-0.6600E+01	0.6040E+01	0.6040E+01
6	0.2500E+00	0.1681E+02	-0.6500E+01	0.5812E+01	0.5812E+01
7	0.3000E+00	0.1639E+02	-0.6400E+01	0.5590E+01	0.5590E+01
8	0.3500E+00	0.1597E+02	-0.6300E+01	0.5372E+01	0.5372E+01
9	0.4000E+00	0.1556E+02	-0.6200E+01	0.5160E+01	0.5160E+01
10	0.4500E+00	0.1515E+02	-0.6100E+01	0.4952E+01	0.4952E+01
11	0.5000E+00	0.1475E+02	-0.6000E+01	0.4750E+01	0.4750E+01
12	0.5500E+00	0.1435E+02	-0.5900E+01	0.4553E+01	0.4553E+01
13	0.6000E+00	0.1396E+02	-0.5800E+01	0.4360E+01	0.4360E+01
14	0.6500E+00	0.1357E+02	-0.5700E+01	0.4173E+01	0.4173E+01
15	0.7000E+00	0.1319E+02	-0.5600E+01	0.3990E+01	0.3990E+01
16	0.7500E+00	0.1281E+02	-0.5500E+01	0.3812E+01	0.3812E+01
17	0.8000E+00	0.1244E+02	-0.5400E+01	0.3640E+01	0.3640E+01
18	0.8500E+00	0.1207E+02	-0.5300E+01	0.3473E+01	0.3473E+01
19	0.9000E+00	0.1171E+02	-0.5200E+01	0.3310E+01	0.3310E+01
20	0.9500E+00	0.1135E+02	-0.5100E+01	0.3152E+01	0.3152E+01
21	0.1000E+01	0.1100E+02	-0.5000E+01	0.3000E+01	0.3000E+01
22	0.1050E+01	0.1065E+02	-0.4900E+01	0.2853E+01	0.2853E+01
23	0.1100E+01	0.1031E+02	-0.4800E+01	0.2710E+01	0.2710E+01
24	0.1150E+01	0.9972E+01	-0.4700E+01	0.2572E+01	0.2572E+01
25	0.1200E+01	0.9640E+01	-0.4600E+01	0.2440E+01	0.2440E+01
26	0.1250E+01	0.9312E+01	-0.4500E+01	0.2312E+01	0.2312E+01
27	0.1300E+01	0.8990E+01	-0.4400E+01	0.2190E+01	0.2190E+01
28	0.1350E+01	0.8672E+01	-0.4300E+01	0.2073E+01	0.2073E+01
29	0.1400E+01	0.8360E+01	-0.4200E+01	0.1960E+01	0.1960E+01
30	0.1450E+01	0.8052E+01	-0.4100E+01	0.1852E+01	0.1852E+01
31	0.1500E+01	0.7750E+01	-0.4000E+01	0.1750E+01	0.1750E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.9887E+00, \tilde{a}_{12} = 0.2967E+01, \tilde{b}_{11} = -0.9960E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1005E+01, \tilde{a}_{22} = -0.2007E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1006E+01. \end{aligned} \quad (17.2C)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.9887E+00, \tilde{a}_{12} = 0.2967E+01, \tilde{b}_{11} = -0.9960E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1005E+01, \tilde{a}_{22} = -0.2007E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1006E+01. (r = 30). \end{aligned} \quad (17.3C)$$

Вариант 18С

Таблица 18.1С – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.7854E+00	0.2025E+01	-0.9024E+00	0.2828E+01	0.2828E+01
2	0.8378E+00	0.1976E+01	-0.9742E+00	0.2677E+01	0.2677E+01
3	0.8901E+00	0.1923E+01	-0.1039E+01	0.2517E+01	0.2517E+01
4	0.9425E+00	0.1867E+01	-0.1097E+01	0.2351E+01	0.2351E+01
5	0.9948E+00	0.1808E+01	-0.1150E+01	0.2179E+01	0.2179E+01
6	0.1047E+01	0.1747E+01	-0.1197E+01	0.2000E+01	0.2000E+01
7	0.1100E+01	0.1683E+01	-0.1239E+01	0.1816E+01	0.1816E+01
8	0.1152E+01	0.1617E+01	-0.1276E+01	0.1627E+01	0.1627E+01
9	0.1204E+01	0.1550E+01	-0.1309E+01	0.1433E+01	0.1433E+01
10	0.1257E+01	0.1480E+01	-0.1339E+01	0.1236E+01	0.1236E+01
11	0.1309E+01	0.1410E+01	-0.1365E+01	0.1035E+01	0.1035E+01
12	0.1361E+01	0.1337E+01	-0.1387E+01	0.8316E+00	0.8316E+00
13	0.1414E+01	0.1264E+01	-0.1407E+01	0.6257E+00	0.6257E+00
14	0.1466E+01	0.1190E+01	-0.1424E+01	0.4181E+00	0.4181E+00
15	0.1518E+01	0.1115E+01	-0.1439E+01	0.2093E+00	0.2093E+00
16	0.1571E+01	0.1039E+01	-0.1451E+01	0.1072E-06	0.1072E-06
17	0.1623E+01	0.9632E+00	-0.1462E+01	-0.2093E+00	-0.2093E+00
18	0.1676E+01	0.8865E+00	-0.1470E+01	-0.4181E+00	-0.4181E+00
19	0.1728E+01	0.8093E+00	-0.1476E+01	-0.6257E+00	-0.6257E+00
20	0.1780E+01	0.7319E+00	-0.1481E+01	-0.8316E+00	-0.8316E+00
21	0.1833E+01	0.6543E+00	-0.1483E+01	-0.1035E+01	-0.1035E+01
22	0.1885E+01	0.5766E+00	-0.1484E+01	-0.1236E+01	-0.1236E+01
23	0.1937E+01	0.4990E+00	-0.1483E+01	-0.1433E+01	-0.1433E+01
24	0.1990E+01	0.4214E+00	-0.1480E+01	-0.1627E+01	-0.1627E+01
25	0.2042E+01	0.3440E+00	-0.1476E+01	-0.1816E+01	-0.1816E+01
26	0.2094E+01	0.2669E+00	-0.1469E+01	-0.2000E+01	-0.2000E+01
27	0.2147E+01	0.1901E+00	-0.1461E+01	-0.2179E+01	-0.2179E+01
28	0.2199E+01	0.1139E+00	-0.1451E+01	-0.2351E+01	-0.2351E+01
29	0.2251E+01	0.3821E-01	-0.1439E+01	-0.2517E+01	-0.2517E+01
30	0.2304E+01	-0.3679E-01	-0.1425E+01	-0.2677E+01	-0.2677E+01
31	0.2356E+01	-0.1110E+00	-0.1409E+01	-0.2828E+01	-0.2828E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.7787E-01, \tilde{a}_{12} = 0.9477E+00, \tilde{b}_{11} = 0.2607E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.2793E+01, \tilde{a}_{22} = -0.1867E+01, \tilde{b}_{22} = 0.9205E+00. \end{aligned} \quad (18.2C)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E-06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.7790E-01, \tilde{a}_{12} = 0.9477E+00, \tilde{b}_{11} = 0.2608E-01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.2793E+01, \tilde{a}_{22} = -0.1867E+01, \tilde{b}_{22} = 0.9205E+00, (r = 30). \end{aligned} \quad (18.3C)$$

Вариант 19С

Таблица 19.1С – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.1250E+01	-0.1500E+01	0.0000E+00	0.4000E+01
2	0.3491E-01	0.1325E+01	-0.2035E+01	0.1302E+00	0.3800E+01
3	0.6981E-01	0.1395E+01	-0.2542E+01	0.2429E+00	0.3618E+01
4	0.1047E+00	0.1457E+01	-0.3021E+01	0.3397E+00	0.3452E+01
5	0.1396E+00	0.1512E+01	-0.3473E+01	0.4224E+00	0.3301E+01
6	0.1745E+00	0.1561E+01	-0.3897E+01	0.4924E+00	0.3163E+01
7	0.2094E+00	0.1601E+01	-0.4294E+01	0.5511E+00	0.3038E+01
8	0.2443E+00	0.1635E+01	-0.4663E+01	0.5996E+00	0.2923E+01
9	0.2793E+00	0.1660E+01	-0.5005E+01	0.6390E+00	0.2818E+01
10	0.3142E+00	0.1678E+01	-0.5318E+01	0.6704E+00	0.2722E+01
11	0.3491E+00	0.1687E+01	-0.5603E+01	0.6947E+00	0.2633E+01
12	0.3840E+00	0.1688E+01	-0.5859E+01	0.7126E+00	0.2551E+01
13	0.4189E+00	0.1681E+01	-0.6086E+01	0.7250E+00	0.2474E+01
14	0.4538E+00	0.1666E+01	-0.6283E+01	0.7324E+00	0.2402E+01
15	0.4887E+00	0.1643E+01	-0.6450E+01	0.7356E+00	0.2334E+01
16	0.5236E+00	0.1611E+01	-0.6586E+01	0.7350E+00	0.2270E+01
17	0.5585E+00	0.1572E+01	-0.6691E+01	0.7311E+00	0.2208E+01
18	0.5934E+00	0.1524E+01	-0.6765E+01	0.7244E+00	0.2148E+01
19	0.6283E+00	0.1469E+01	-0.6807E+01	0.7153E+00	0.2089E+01
20	0.6632E+00	0.1407E+01	-0.6818E+01	0.7041E+00	0.2032E+01
21	0.6981E+00	0.1337E+01	-0.6798E+01	0.6912E+00	0.1975E+01
22	0.7330E+00	0.1261E+01	-0.6746E+01	0.6768E+00	0.1918E+01
23	0.7679E+00	0.1177E+01	-0.6663E+01	0.6612E+00	0.1860E+01
24	0.8029E+00	0.1088E+01	-0.6549E+01	0.6447E+00	0.1802E+01
25	0.8378E+00	0.9933E+00	-0.6405E+01	0.6274E+00	0.1743E+01
26	0.8727E+00	0.8931E+00	-0.6231E+01	0.6094E+00	0.1683E+01
27	0.9076E+00	0.7881E+00	-0.6028E+01	0.5911E+00	0.1622E+01
28	0.9425E+00	0.6787E+00	-0.5797E+01	0.5724E+00	0.1558E+01
29	0.9774E+00	0.5656E+00	-0.5539E+01	0.5536E+00	0.1494E+01
30	0.1012E+01	0.4493E+00	-0.5255E+01	0.5347E+00	0.1427E+01
31	0.1047E+01	0.3304E+00	-0.4946E+01	0.5158E+00	0.1359E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.2932E+01, \tilde{a}_{12} = 0.1003E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1020E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1307E+02, \tilde{a}_{22} = -0.3048E+01, \tilde{b}_{22} = -0.8993E+00. \end{aligned} \quad (19.2C)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.2932E+01, \tilde{a}_{12} = 0.1003E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1020E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1307E+02, \tilde{a}_{22} = -0.3048E+01, \tilde{b}_{22} = -0.8993E+00, (r = 30). \end{aligned} \quad (19.3C)$$

Вариант 20С

Таблица 20.1С – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.1111E+01	-0.3333E+00	0.0000E+00	0.9000E+01
2	0.2618E-01	0.1185E+01	-0.1048E+01	0.1452E+00	0.8392E+01
3	0.5236E-01	0.1250E+01	-0.1725E+01	0.2685E+00	0.7822E+01
4	0.7854E-01	0.1305E+01	-0.2364E+01	0.3723E+00	0.7285E+01
5	0.1047E+00	0.1351E+01	-0.2965E+01	0.4589E+00	0.6777E+01
6	0.1309E+00	0.1386E+01	-0.3526E+01	0.5303E+00	0.6293E+01
7	0.1571E+00	0.1411E+01	-0.4046E+01	0.5883E+00	0.5830E+01
8	0.1833E+00	0.1427E+01	-0.4525E+01	0.6345E+00	0.5386E+01
9	0.2094E+00	0.1432E+01	-0.4962E+01	0.6704E+00	0.4958E+01
10	0.2356E+00	0.1427E+01	-0.5355E+01	0.6972E+00	0.4543E+01
11	0.2618E+00	0.1412E+01	-0.5703E+01	0.7162E+00	0.4141E+01
12	0.2880E+00	0.1388E+01	-0.6006E+01	0.7283E+00	0.3749E+01
13	0.3142E+00	0.1354E+01	-0.6264E+01	0.7345E+00	0.3367E+01
14	0.3403E+00	0.1311E+01	-0.6474E+01	0.7356E+00	0.2993E+01
15	0.3665E+00	0.1259E+01	-0.6639E+01	0.7323E+00	0.2628E+01
16	0.3927E+00	0.1200E+01	-0.6756E+01	0.7254E+00	0.2270E+01
17	0.4189E+00	0.1132E+01	-0.6827E+01	0.7153E+00	0.1919E+01
18	0.4451E+00	0.1058E+01	-0.6852E+01	0.7026E+00	0.1576E+01
19	0.4712E+00	0.9766E+00	-0.6830E+01	0.6877E+00	0.1241E+01
20	0.4974E+00	0.8897E+00	-0.6764E+01	0.6711E+00	0.9135E+00
21	0.5236E+00	0.7976E+00	-0.6655E+01	0.6531E+00	0.5942E+00
22	0.5498E+00	0.7010E+00	-0.6502E+01	0.6339E+00	0.2838E+00
23	0.5760E+00	0.6007E+00	-0.6309E+01	0.6140E+00	-0.1729E-01
24	0.6021E+00	0.4974E+00	-0.6077E+01	0.5934E+00	-0.3083E+00
25	0.6283E+00	0.3919E+00	-0.5808E+01	0.5724E+00	-0.5884E+00
26	0.6545E+00	0.2851E+00	-0.5504E+01	0.5512E+00	-0.8571E+00
27	0.6807E+00	0.1776E+00	-0.5168E+01	0.5300E+00	-0.1113E+01
28	0.7069E+00	0.7039E-01	-0.4802E+01	0.5088E+00	-0.1356E+01
29	0.7330E+00	-0.3587E-01	-0.4410E+01	0.4878E+00	-0.1586E+01
30	0.7592E+00	-0.1404E+00	-0.3994E+01	0.4670E+00	-0.1800E+01
31	0.7854E+00	-0.2423E+00	-0.3557E+01	0.4466E+00	-0.1999E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.2842E+01, \tilde{a}_{12} = 0.9943E+00, \tilde{b}_{11} = 0.1011E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1820E+02, \tilde{a}_{22} = -0.3135E+01, \tilde{b}_{22} = -0.9041E+00. \end{aligned} \quad (20.2C)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.2842E+01, \tilde{a}_{12} = 0.9943E+00, \tilde{b}_{11} = 0.1011E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1820E+02, \tilde{a}_{22} = -0.3135E+01, \tilde{b}_{22} = -0.9041E+00, (r = 30). \end{aligned} \quad (20.3C)$$

Вариант 21С

Таблица 21.1С – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.1500E+02	0.9000E+01	0.5000E+01	0.5000E+01
2	0.1047E+00	0.1618E+02	0.9777E+01	0.2235E+01	0.2235E+01
3	0.2094E+00	0.1655E+02	0.1001E+02	-0.3519E+00	-0.3519E+00
4	0.3142E+00	0.1614E+02	0.9724E+01	-0.2685E+01	-0.2685E+01
5	0.4189E+00	0.1497E+02	0.8949E+01	-0.4694E+01	-0.4694E+01
6	0.5236E+00	0.1314E+02	0.7743E+01	-0.6319E+01	-0.6319E+01
7	0.6283E+00	0.1074E+02	0.6180E+01	-0.7514E+01	-0.7514E+01
8	0.7330E+00	0.7908E+01	0.4347E+01	-0.8247E+01	-0.8247E+01
9	0.8378E+00	0.4780E+01	0.2342E+01	-0.8507E+01	-0.8507E+01
10	0.9425E+00	0.1516E+01	0.2680E+00	-0.8297E+01	-0.8297E+01
11	0.1047E+01	-0.1723E+01	-0.1770E+01	-0.7641E+01	-0.7641E+01
12	0.1152E+01	-0.4776E+01	-0.3671E+01	-0.6579E+01	-0.6579E+01
13	0.1257E+01	-0.7496E+01	-0.5340E+01	-0.5170E+01	-0.5170E+01
14	0.1361E+01	-0.9747E+01	-0.6693E+01	-0.3484E+01	-0.3484E+01
15	0.1466E+01	-0.1142E+02	-0.7663E+01	-0.1602E+01	-0.1602E+01
16	0.1571E+01	-0.1243E+02	-0.8200E+01	0.3863E+00	0.3863E+00
17	0.1676E+01	-0.1272E+02	-0.8272E+01	0.2388E+01	0.2388E+01
18	0.1780E+01	-0.1227E+02	-0.7871E+01	0.4310E+01	0.4310E+01
19	0.1885E+01	-0.1109E+02	-0.7008E+01	0.6065E+01	0.6065E+01
20	0.1990E+01	-0.9222E+01	-0.5717E+01	0.7571E+01	0.7571E+01
21	0.2094E+01	-0.6746E+01	-0.4050E+01	0.8760E+01	0.8760E+01
22	0.2199E+01	-0.3761E+01	-0.2076E+01	0.9577E+01	0.9577E+01
23	0.2304E+01	-0.3940E+00	0.1220E+00	0.9984E+01	0.9984E+01
24	0.2409E+01	0.3213E+01	0.2449E+01	0.9962E+01	0.9962E+01
25	0.2513E+01	0.6905E+01	0.4807E+01	0.9508E+01	0.9508E+01
26	0.2618E+01	0.1053E+02	0.7094E+01	0.8643E+01	0.8643E+01
27	0.2723E+01	0.1392E+02	0.9212E+01	0.7402E+01	0.7402E+01
28	0.2827E+01	0.1693E+02	0.1107E+02	0.5839E+01	0.5839E+01
29	0.2932E+01	0.1945E+02	0.1258E+02	0.4021E+01	0.4021E+01
30	0.3037E+01	0.2135E+02	0.1369E+02	0.2028E+01	0.2028E+01
31	0.3142E+01	0.2255E+02	0.1435E+02	-0.5545E-01	-0.5545E-01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.5522E+01, \tilde{a}_{12} = 0.8906E+01, \tilde{b}_{11} = 0.3090E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.2735E+01, \tilde{a}_{22} = 0.4362E+01, \tilde{b}_{22} = 0.2043E+01. \end{aligned} \quad (21.2C)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.5522E+01, \tilde{a}_{12} = 0.8906E+01, \tilde{b}_{11} = 0.3090E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.2735E+01, \tilde{a}_{22} = 0.4362E+01, \tilde{b}_{22} = 0.2043E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (21.3C)$$

Вариант 22С

Таблица 22.1С – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.1000E+01	0.0000E+00	0.2000E+01	0.2000E+01
2	0.3000E-01	0.9435E+00	0.2741E-01	0.1884E+01	0.1884E+01
3	0.6000E-01	0.8933E+00	0.5002E-01	0.1774E+01	0.1774E+01
4	0.9000E-01	0.8488E+00	0.6841E-01	0.1671E+01	0.1671E+01
5	0.1200E+00	0.8093E+00	0.8307E-01	0.1573E+01	0.1573E+01
6	0.1500E+00	0.7742E+00	0.9445E-01	0.1482E+01	0.1482E+01
7	0.1800E+00	0.7429E+00	0.1030E+00	0.1395E+01	0.1395E+01
8	0.2100E+00	0.7150E+00	0.1090E+00	0.1314E+01	0.1314E+01
9	0.2400E+00	0.6901E+00	0.1129E+00	0.1238E+01	0.1238E+01
10	0.2700E+00	0.6677E+00	0.1149E+00	0.1165E+01	0.1165E+01
11	0.3000E+00	0.6476E+00	0.1153E+00	0.1098E+01	0.1098E+01
12	0.3300E+00	0.6294E+00	0.1143E+00	0.1034E+01	0.1034E+01
13	0.3600E+00	0.6129E+00	0.1121E+00	0.9735E+00	0.9735E+00
14	0.3900E+00	0.5979E+00	0.1091E+00	0.9168E+00	0.9168E+00
15	0.4200E+00	0.5840E+00	0.1052E+00	0.8634E+00	0.8634E+00
16	0.4500E+00	0.5712E+00	0.1006E+00	0.8131E+00	0.8131E+00
17	0.4800E+00	0.5593E+00	0.9557E-01	0.7658E+00	0.7658E+00
18	0.5100E+00	0.5482E+00	0.9011E-01	0.7212E+00	0.7212E+00
19	0.5400E+00	0.5376E+00	0.8436E-01	0.6792E+00	0.6792E+00
20	0.5700E+00	0.5276E+00	0.7839E-01	0.6396E+00	0.6396E+00
21	0.6000E+00	0.5181E+00	0.7229E-01	0.6024E+00	0.6024E+00
22	0.6300E+00	0.5088E+00	0.6612E-01	0.5673E+00	0.5673E+00
23	0.6600E+00	0.4999E+00	0.5995E-01	0.5343E+00	0.5343E+00
24	0.6900E+00	0.4911E+00	0.5381E-01	0.5032E+00	0.5032E+00
25	0.7200E+00	0.4826E+00	0.4776E-01	0.4739E+00	0.4739E+00
26	0.7500E+00	0.4742E+00	0.4184E-01	0.4463E+00	0.4463E+00
27	0.7800E+00	0.4658E+00	0.3606E-01	0.4203E+00	0.4203E+00
28	0.8100E+00	0.4576E+00	0.3046E-01	0.3958E+00	0.3958E+00
29	0.8400E+00	0.4494E+00	0.2505E-01	0.3727E+00	0.3727E+00
30	0.8700E+00	0.4412E+00	0.1985E-01	0.3510E+00	0.3510E+00
31	0.9000E+00	0.4331E+00	0.1488E-01	0.3306E+00	0.3306E+00

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.5695E - 01, \tilde{a}_{12} = 0.3763E+01, \tilde{b}_{11} = -0.9136E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.9419E+00, \tilde{a}_{22} = -0.3824E+01, \tilde{b}_{22} = 0.9276E+00. \end{aligned} \quad (22.2C)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.5696E - 01, \tilde{a}_{12} = 0.3763E+01, \tilde{b}_{11} = -0.9136E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.9419E+00, \tilde{a}_{22} = -0.3824E+01, \tilde{b}_{22} = 0.9276E+00, (r = 30). \end{aligned} \quad (22.3C)$$

Вариант 23С

Таблица 23.1С – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.1000E+01	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
2	0.2000E-01	0.1058E+01	-0.1941E-01	0.1960E-01	0.1960E-01
3	0.4000E-01	0.1112E+01	-0.3767E-01	0.3843E-01	0.3843E-01
4	0.6000E-01	0.1163E+01	-0.5484E-01	0.5651E-01	0.5651E-01
5	0.8000E-01	0.1210E+01	-0.7097E-01	0.7385E-01	0.7385E-01
6	0.1000E+00	0.1254E+01	-0.8611E-01	0.9048E-01	0.9048E-01
7	0.1200E+00	0.1295E+01	-0.1003E+00	0.1064E+00	0.1064E+00
8	0.1400E+00	0.1332E+01	-0.1136E+00	0.1217E+00	0.1217E+00
9	0.1600E+00	0.1367E+01	-0.1260E+00	0.1363E+00	0.1363E+00
10	0.1800E+00	0.1399E+01	-0.1376E+00	0.1503E+00	0.1503E+00
11	0.2000E+00	0.1429E+01	-0.1485E+00	0.1637E+00	0.1637E+00
12	0.2200E+00	0.1456E+01	-0.1586E+00	0.1766E+00	0.1766E+00
13	0.2400E+00	0.1481E+01	-0.1679E+00	0.1888E+00	0.1888E+00
14	0.2600E+00	0.1504E+01	-0.1767E+00	0.2005E+00	0.2005E+00
15	0.2800E+00	0.1524E+01	-0.1848E+00	0.2116E+00	0.2116E+00
16	0.3000E+00	0.1543E+01	-0.1922E+00	0.2222E+00	0.2222E+00
17	0.3200E+00	0.1560E+01	-0.1992E+00	0.2324E+00	0.2324E+00
18	0.3400E+00	0.1575E+01	-0.2055E+00	0.2420E+00	0.2420E+00
19	0.3600E+00	0.1588E+01	-0.2114E+00	0.2512E+00	0.2512E+00
20	0.3800E+00	0.1600E+01	-0.2167E+00	0.2599E+00	0.2599E+00
21	0.4000E+00	0.1611E+01	-0.2217E+00	0.2681E+00	0.2681E+00
22	0.4200E+00	0.1619E+01	-0.2261E+00	0.2760E+00	0.2760E+00
23	0.4400E+00	0.1627E+01	-0.2302E+00	0.2834E+00	0.2834E+00
24	0.4600E+00	0.1633E+01	-0.2338E+00	0.2904E+00	0.2904E+00
25	0.4800E+00	0.1639E+01	-0.2371E+00	0.2970E+00	0.2970E+00
26	0.5000E+00	0.1643E+01	-0.2401E+00	0.3033E+00	0.3033E+00
27	0.5200E+00	0.1646E+01	-0.2427E+00	0.3092E+00	0.3092E+00
28	0.5400E+00	0.1648E+01	-0.2450E+00	0.3147E+00	0.3147E+00
29	0.5600E+00	0.1649E+01	-0.2470E+00	0.3199E+00	0.3199E+00
30	0.5800E+00	0.1649E+01	-0.2488E+00	0.3247E+00	0.3247E+00
31	0.6000E+00	0.1649E+01	-0.2503E+00	0.3293E+00	0.3293E+00

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.2902E+01, \tilde{a}_{12} = 0.1573E+02, \tilde{b}_{11} = -0.2759E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.9706E+00, \tilde{a}_{22} = -0.4896E+01, \tilde{b}_{22} = 0.9484E+00. \end{aligned} \quad (23.2C)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.2902E+01, \tilde{a}_{12} = 0.1573E+02, \tilde{b}_{11} = -0.2759E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.9706E+00, \tilde{a}_{22} = -0.4899E+01, \tilde{b}_{22} = 0.9461E+00, (r = 30). \end{aligned} \quad (23.3C)$$

Вариант 24С

Таблица 24.1С – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.2062E+01	-0.3125E-01	0.2781E+01	0.0000E+00
2	0.1047E+00	0.2672E+01	-0.2797E+00	0.2335E+01	0.1078E+00
3	0.2094E+00	0.3178E+01	-0.4941E+00	0.1863E+01	0.2144E+00
4	0.3142E+00	0.3584E+01	-0.6740E+00	0.1370E+01	0.3187E+00
5	0.4189E+00	0.3892E+01	-0.8195E+00	0.8630E+00	0.4194E+00
6	0.5236E+00	0.4106E+01	-0.9314E+00	0.3461E+00	0.5156E+00
7	0.6283E+00	0.4232E+01	-0.1011E+01	-0.1745E+00	0.6062E+00
8	0.7330E+00	0.4275E+01	-0.1060E+01	-0.6933E+00	0.6900E+00
9	0.8378E+00	0.4242E+01	-0.1079E+01	-0.1204E+01	0.7664E+00
10	0.9425E+00	0.4138E+01	-0.1072E+01	-0.1702E+01	0.8343E+00
11	0.1047E+01	0.3971E+01	-0.1041E+01	-0.2182E+01	0.8931E+00
12	0.1152E+01	0.3746E+01	-0.9879E+00	-0.2637E+01	0.9421E+00
13	0.1257E+01	0.3472E+01	-0.9155E+00	-0.3064E+01	0.9808E+00
14	0.1361E+01	0.3155E+01	-0.8265E+00	-0.3457E+01	0.1009E+01
15	0.1466E+01	0.2801E+01	-0.7237E+00	-0.3812E+01	0.1026E+01
16	0.1571E+01	0.2418E+01	-0.6095E+00	-0.4125E+01	0.1031E+01
17	0.1676E+01	0.2011E+01	-0.4866E+00	-0.4393E+01	0.1026E+01
18	0.1780E+01	0.1588E+01	-0.3574E+00	-0.4613E+01	0.1009E+01
19	0.1885E+01	0.1154E+01	-0.2243E+00	-0.4783E+01	0.9808E+00
20	0.1990E+01	0.7152E+00	-0.8963E-01	-0.4900E+01	0.9421E+00
21	0.2094E+01	0.2769E+00	0.4456E-01	-0.4963E+01	0.8931E+00
22	0.2199E+01	-0.1556E+00	0.1763E+00	-0.4972E+01	0.8343E+00
23	0.2304E+01	-0.5773E+00	0.3037E+00	-0.4926E+01	0.7664E+00
24	0.2409E+01	-0.9837E+00	0.4251E+00	-0.4827E+01	0.6900E+00
25	0.2513E+01	-0.1371E+01	0.5390E+00	-0.4675E+01	0.6062E+00
26	0.2618E+01	-0.1734E+01	0.6442E+00	-0.4471E+01	0.5156E+00
27	0.2723E+01	-0.2070E+01	0.7393E+00	-0.4219E+01	0.4194E+00
28	0.2827E+01	-0.2376E+01	0.8235E+00	-0.3920E+01	0.3187E+00
29	0.2932E+01	-0.2650E+01	0.8958E+00	-0.3578E+01	0.2144E+00
30	0.3037E+01	-0.2888E+01	0.9558E+00	-0.3197E+01	0.1078E+00
31	0.3142E+01	-0.3089E+01	0.1003E+01	-0.2781E+01	0.5526E-07

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.1592E+01, \tilde{a}_{12} = 0.6080E+01, \tilde{b}_{11} = 0.9765E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1197E+01, \tilde{a}_{22} = -0.3377E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1952E+01. \end{aligned} \quad (24.2C)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.1592E+01, \tilde{a}_{12} = 0.6080E+01, \tilde{b}_{11} = 0.9765E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.1197E+01, \tilde{a}_{22} = -0.3377E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1952E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (24.3C)$$

Вариант 25С

Таблица 25.1С – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.6500E+01	-0.2250E+01	0.1075E+02	0.0000E+00
2	0.2618E-01	0.6643E+01	-0.2303E+01	0.8206E+01	0.6277E+00
3	0.5236E-01	0.6718E+01	-0.2326E+01	0.5612E+01	0.1251E+01
4	0.7854E-01	0.6728E+01	-0.2318E+01	0.2983E+01	0.1868E+01
5	0.1047E+00	0.6672E+01	-0.2281E+01	0.3353E+00	0.2472E+01
6	0.1309E+00	0.6553E+01	-0.2216E+01	-0.2314E+01	0.3061E+01
7	0.1571E+00	0.6372E+01	-0.2124E+01	-0.4949E+01	0.3632E+01
8	0.1833E+00	0.6133E+01	-0.2005E+01	-0.7554E+01	0.4180E+01
9	0.2094E+00	0.5836E+01	-0.1863E+01	-0.1011E+02	0.4702E+01
10	0.2356E+00	0.5486E+01	-0.1697E+01	-0.1261E+02	0.5196E+01
11	0.2618E+00	0.5085E+01	-0.1509E+01	-0.1503E+02	0.5657E+01
12	0.2880E+00	0.4637E+01	-0.1302E+01	-0.1735E+02	0.6083E+01
13	0.3142E+00	0.4145E+01	-0.1077E+01	-0.1957E+02	0.6472E+01
14	0.3403E+00	0.3614E+01	-0.8358E+00	-0.2167E+02	0.6821E+01
15	0.3665E+00	0.3047E+01	-0.5806E+00	-0.2363E+02	0.7128E+01
16	0.3927E+00	0.2449E+01	-0.3135E+00	-0.2545E+02	0.7391E+01
17	0.4189E+00	0.1824E+01	-0.3641E-01	-0.2711E+02	0.7608E+01
18	0.4451E+00	0.1176E+01	0.2484E+00	-0.2861E+02	0.7779E+01
19	0.4712E+00	0.5113E+00	0.5388E+00	-0.2992E+02	0.7902E+01
20	0.4974E+00	-0.1669E+00	0.8327E+00	-0.3106E+02	0.7975E+01
21	0.5236E+00	-0.8533E+00	0.1128E+01	-0.3200E+02	0.8000E+01
22	0.5498E+00	-0.1543E+01	0.1422E+01	-0.3274E+02	0.7975E+01
23	0.5760E+00	-0.2232E+01	0.1713E+01	-0.3329E+02	0.7902E+01
24	0.6021E+00	-0.2914E+01	0.1999E+01	-0.3363E+02	0.7779E+01
25	0.6283E+00	-0.3586E+01	0.2278E+01	-0.3376E+02	0.7608E+01
26	0.6545E+00	-0.4242E+01	0.2547E+01	-0.3368E+02	0.7391E+01
27	0.6807E+00	-0.4879E+01	0.2805E+01	-0.3339E+02	0.7128E+01
28	0.7069E+00	-0.5491E+01	0.3050E+01	-0.3290E+02	0.6821E+01
29	0.7330E+00	-0.6076E+01	0.3281E+01	-0.3221E+02	0.6472E+01
30	0.7592E+00	-0.6628E+01	0.3494E+01	-0.3131E+02	0.6083E+01
31	0.7854E+00	-0.7144E+01	0.3690E+01	-0.3023E+02	0.5657E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.8068E+00, \tilde{a}_{12} = 0.4496E+01, \tilde{b}_{11} = 0.9604E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.2103E+01, \tilde{a}_{22} = -0.5173E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1910E+01. \end{aligned} \quad (25.2C)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= 0.8068E+00, \tilde{a}_{12} = 0.4496E+01, \tilde{b}_{11} = 0.9604E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.2103E+01, \tilde{a}_{22} = -0.5173E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1910E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (25.3C)$$

Вариант 26С

Таблица 26.1С – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	-0.3000E+01	0.3000E+01	-0.5000E+01	0.1500E+01
2	0.1047E+00	-0.3178E+01	0.2994E+01	-0.4764E+01	0.1440E+01
3	0.2094E+00	-0.3296E+01	0.2975E+01	-0.4475E+01	0.1363E+01
4	0.3142E+00	-0.3359E+01	0.2942E+01	-0.4137E+01	0.1272E+01
5	0.4189E+00	-0.3372E+01	0.2892E+01	-0.3754E+01	0.1167E+01
6	0.5236E+00	-0.3340E+01	0.2824E+01	-0.3330E+01	0.1049E+01
7	0.6283E+00	-0.3264E+01	0.2739E+01	-0.2870E+01	0.9196E+00
8	0.7330E+00	-0.3148E+01	0.2636E+01	-0.2377E+01	0.7802E+00
9	0.8378E+00	-0.2996E+01	0.2514E+01	-0.1859E+01	0.6321E+00
10	0.9425E+00	-0.2810E+01	0.2374E+01	-0.1321E+01	0.4772E+00
11	0.1047E+01	-0.2594E+01	0.2217E+01	-0.7679E+00	0.3170E+00
12	0.1152E+01	-0.2350E+01	0.2043E+01	-0.2066E+00	0.1533E+00
13	0.1257E+01	-0.2082E+01	0.1854E+01	0.3570E+00	-0.1200E-01
14	0.1361E+01	-0.1792E+01	0.1650E+01	0.9167E+00	-0.1772E+00
15	0.1466E+01	-0.1486E+01	0.1434E+01	0.1466E+01	-0.3405E+00
16	0.1571E+01	-0.1165E+01	0.1208E+01	0.2000E+01	-0.5000E+00
17	0.1676E+01	-0.8331E+00	0.9727E+00	0.2512E+01	-0.6541E+00
18	0.1780E+01	-0.4946E+00	0.7309E+00	0.2996E+01	-0.8009E+00
19	0.1885E+01	-0.1528E+00	0.4849E+00	0.3447E+01	-0.9391E+00
20	0.1990E+01	0.1886E+00	0.2368E+00	0.3861E+01	-0.1067E+01
21	0.2094E+01	0.5260E+00	-0.1083E-01	0.4232E+01	-0.1183E+01
22	0.2199E+01	0.8557E+00	-0.2557E+00	0.4557E+01	-0.1286E+01
23	0.2304E+01	0.1174E+01	-0.4952E+00	0.4832E+01	-0.1375E+01
24	0.2409E+01	0.1478E+01	-0.7272E+00	0.5054E+01	-0.1449E+01
25	0.2513E+01	0.1765E+01	-0.9492E+00	0.5221E+01	-0.1507E+01
26	0.2618E+01	0.2030E+01	-0.1159E+01	0.5330E+01	-0.1549E+01
27	0.2723E+01	0.2273E+01	-0.1355E+01	0.5381E+01	-0.1574E+01
28	0.2827E+01	0.2488E+01	-0.1534E+01	0.5373E+01	-0.1581E+01
29	0.2932E+01	0.2676E+01	-0.1695E+01	0.5307E+01	-0.1571E+01
30	0.3037E+01	0.2833E+01	-0.1837E+01	0.5182E+01	-0.1544E+01
31	0.3142E+01	0.2959E+01	-0.1957E+01	0.5000E+01	-0.1500E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.1924E+01, \tilde{a}_{12} = -0.8607E+00, \tilde{b}_{11} = 0.9801E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= 0.7771E-01, \tilde{a}_{22} = -0.9471E+00, \tilde{b}_{22} = 0.2018E+01. \end{aligned} \quad (26.2C)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E-06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.1924E+01, \tilde{a}_{12} = -0.8607E+00, \tilde{b}_{11} = 0.9801E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= 0.7771E-01, \tilde{a}_{22} = -0.9471E+00, \tilde{b}_{22} = 0.2018E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (26.3C)$$

Вариант 27С

Таблица 27.1С – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	-0.9000E+01	0.4000E+01	-0.3000E+02	0.4000E+01
2	0.2618E-01	-0.9107E+01	0.4002E+01	-0.3036E+02	0.4051E+01
3	0.5236E-01	-0.9216E+01	0.4008E+01	-0.3069E+02	0.4099E+01
4	0.7854E-01	-0.9329E+01	0.4016E+01	-0.3101E+02	0.4145E+01
5	0.1047E+00	-0.9442E+01	0.4028E+01	-0.3130E+02	0.4187E+01
6	0.1309E+00	-0.9557E+01	0.4041E+01	-0.3157E+02	0.4227E+01
7	0.1571E+00	-0.9671E+01	0.4057E+01	-0.3182E+02	0.4264E+01
8	0.1833E+00	-0.9785E+01	0.4074E+01	-0.3205E+02	0.4297E+01
9	0.2094E+00	-0.9898E+01	0.4092E+01	-0.3226E+02	0.4328E+01
10	0.2356E+00	-0.1001E+02	0.4111E+01	-0.3244E+02	0.4356E+01
11	0.2618E+00	-0.1012E+02	0.4130E+01	-0.3260E+02	0.4381E+01
12	0.2880E+00	-0.1022E+02	0.4150E+01	-0.3274E+02	0.4403E+01
13	0.3142E+00	-0.1033E+02	0.4170E+01	-0.3286E+02	0.4422E+01
14	0.3403E+00	-0.1043E+02	0.4190E+01	-0.3295E+02	0.4438E+01
15	0.3665E+00	-0.1052E+02	0.4209E+01	-0.3302E+02	0.4451E+01
16	0.3927E+00	-0.1061E+02	0.4228E+01	-0.3307E+02	0.4461E+01
17	0.4189E+00	-0.1070E+02	0.4245E+01	-0.3310E+02	0.4468E+01
18	0.4451E+00	-0.1078E+02	0.4262E+01	-0.3310E+02	0.4471E+01
19	0.4712E+00	-0.1086E+02	0.4278E+01	-0.3309E+02	0.4472E+01
20	0.4974E+00	-0.1093E+02	0.4293E+01	-0.3304E+02	0.4470E+01
21	0.5236E+00	-0.1099E+02	0.4306E+01	-0.3298E+02	0.4464E+01
22	0.5498E+00	-0.1105E+02	0.4318E+01	-0.3289E+02	0.4456E+01
23	0.5760E+00	-0.1111E+02	0.4328E+01	-0.3279E+02	0.4444E+01
24	0.6021E+00	-0.1115E+02	0.4336E+01	-0.3265E+02	0.4429E+01
25	0.6283E+00	-0.1119E+02	0.4342E+01	-0.3250E+02	0.4412E+01
26	0.6545E+00	-0.1123E+02	0.4347E+01	-0.3232E+02	0.4391E+01
27	0.6807E+00	-0.1125E+02	0.4349E+01	-0.3212E+02	0.4367E+01
28	0.7069E+00	-0.1128E+02	0.4350E+01	-0.3190E+02	0.4341E+01
29	0.7330E+00	-0.1129E+02	0.4348E+01	-0.3166E+02	0.4311E+01
30	0.7592E+00	-0.1130E+02	0.4344E+01	-0.3140E+02	0.4278E+01
31	0.7854E+00	-0.1130E+02	0.4337E+01	-0.3111E+02	0.4243E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.2142E+01, \tilde{a}_{12} = 0.1503E+01, \tilde{b}_{11} = 0.9792E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= 0.8506E-01, \tilde{a}_{22} = -0.2782E+01, \tilde{b}_{22} = 0.2992E+01. \end{aligned} \quad (27.2C)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E-06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.2142E+01, \tilde{a}_{12} = 0.1503E+01, \tilde{b}_{11} = 0.9792E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= 0.8506E-01, \tilde{a}_{22} = -0.2782E+01, \tilde{b}_{22} = 0.2992E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (27.3C)$$

Вариант 28С

Таблица 28.1С – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	-0.2000E+01	-0.1000E+01	0.1000E+01	0.0000E+00
2	0.3491E-01	-0.1927E+01	-0.9639E+00	0.1209E+01	0.5233E-01
3	0.6981E-01	-0.1849E+01	-0.9255E+00	0.1415E+01	0.1045E+00
4	0.1047E+00	-0.1764E+01	-0.8851E+00	0.1619E+01	0.1562E+00
5	0.1396E+00	-0.1675E+01	-0.8428E+00	0.1820E+01	0.2074E+00
6	0.1745E+00	-0.1581E+01	-0.7989E+00	0.2016E+01	0.2578E+00
7	0.2094E+00	-0.1482E+01	-0.7535E+00	0.2207E+01	0.3073E+00
8	0.2443E+00	-0.1379E+01	-0.7069E+00	0.2393E+01	0.3557E+00
9	0.2793E+00	-0.1273E+01	-0.6594E+00	0.2572E+01	0.4028E+00
10	0.3142E+00	-0.1164E+01	-0.6111E+00	0.2745E+01	0.4484E+00
11	0.3491E+00	-0.1051E+01	-0.5624E+00	0.2909E+01	0.4924E+00
12	0.3840E+00	-0.9367E+00	-0.5134E+00	0.3066E+01	0.5346E+00
13	0.4189E+00	-0.8204E+00	-0.4645E+00	0.3213E+01	0.5749E+00
14	0.4538E+00	-0.7029E+00	-0.4160E+00	0.3352E+01	0.6132E+00
15	0.4887E+00	-0.5846E+00	-0.3680E+00	0.3480E+01	0.6493E+00
16	0.5236E+00	-0.4661E+00	-0.3208E+00	0.3598E+01	0.6830E+00
17	0.5585E+00	-0.3480E+00	-0.2748E+00	0.3705E+01	0.7144E+00
18	0.5934E+00	-0.2307E+00	-0.2302E+00	0.3802E+01	0.7432E+00
19	0.6283E+00	-0.1148E+00	-0.1871E+00	0.3887E+01	0.7694E+00
20	0.6632E+00	-0.7832E-03	-0.1460E+00	0.3960E+01	0.7930E+00
21	0.6981E+00	0.1107E+00	-0.1070E+00	0.4021E+01	0.8138E+00
22	0.7330E+00	0.2193E+00	-0.7029E-01	0.4070E+01	0.8318E+00
23	0.7679E+00	0.3243E+00	-0.3622E-01	0.4107E+01	0.8470E+00
24	0.8029E+00	0.4253E+00	-0.4954E-02	0.4132E+01	0.8594E+00
25	0.8378E+00	0.5218E+00	0.2329E-01	0.4144E+01	0.8688E+00
26	0.8727E+00	0.6133E+00	0.4832E-01	0.4144E+01	0.8754E+00
27	0.9076E+00	0.6994E+00	0.6995E-01	0.4132E+01	0.8792E+00
28	0.9425E+00	0.7796E+00	0.8801E-01	0.4108E+01	0.8800E+00
29	0.9774E+00	0.8535E+00	0.1024E+00	0.4072E+01	0.8781E+00
30	0.1012E+01	0.9207E+00	0.1128E+00	0.4024E+01	0.8734E+00
31	0.1047E+01	0.9808E+00	0.1194E+00	0.3964E+01	0.8660E+00

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.3105E+01, \tilde{a}_{12} = 0.5118E+01, \tilde{b}_{11} = 0.9949E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.2037E+01, \tilde{a}_{22} = 0.3039E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1968E+01. \end{aligned} \quad (28.2C)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.3105E+01, \tilde{a}_{12} = 0.5118E+01, \tilde{b}_{11} = 0.9949E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.2037E+01, \tilde{a}_{22} = 0.3039E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1968E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (28.3C)$$

Вариант 29С

Таблица 29.1С – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.0000E+00	0.6000E+01	0.3000E+01	0.3000E+01	0.5000E+00
2	0.1047E+00	0.5855E+01	0.2714E+01	0.3766E+01	0.6970E+00
3	0.2094E+00	0.5415E+01	0.2279E+01	0.4368E+01	0.8635E+00
4	0.3142E+00	0.4682E+01	0.1707E+01	0.4778E+01	0.9923E+00
5	0.4189E+00	0.3677E+01	0.1017E+01	0.4980E+01	0.1078E+01
6	0.5236E+00	0.2431E+01	0.2360E+00	0.4964E+01	0.1116E+01
7	0.6283E+00	0.9926E+00	-0.6042E+00	0.4731E+01	0.1106E+01
8	0.7330E+00	-0.5786E+00	-0.1466E+01	0.4292E+01	0.1047E+01
9	0.8378E+00	-0.2213E+01	-0.2310E+01	0.3665E+01	0.9423E+00
10	0.9425E+00	-0.3836E+01	-0.3093E+01	0.2877E+01	0.7965E+00
11	0.1047E+01	-0.5367E+01	-0.3776E+01	0.1964E+01	0.6160E+00
12	0.1152E+01	-0.6728E+01	-0.4321E+01	0.9652E+00	0.4086E+00
13	0.1257E+01	-0.7844E+01	-0.4695E+01	-0.7591E-01	0.1833E+00
14	0.1361E+01	-0.8652E+01	-0.4871E+01	-0.1114E+01	-0.5004E-01
15	0.1466E+01	-0.9097E+01	-0.4833E+01	-0.2103E+01	-0.2812E+00
16	0.1571E+01	-0.9142E+01	-0.4571E+01	-0.3000E+01	-0.5000E+00
17	0.1676E+01	-0.8765E+01	-0.4087E+01	-0.3766E+01	-0.6970E+00
18	0.1780E+01	-0.7965E+01	-0.3395E+01	-0.4368E+01	-0.8635E+00
19	0.1885E+01	-0.6762E+01	-0.2516E+01	-0.4778E+01	-0.9923E+00
20	0.1990E+01	-0.5195E+01	-0.1485E+01	-0.4980E+01	-0.1078E+01
21	0.2094E+01	-0.3321E+01	-0.3413E+00	-0.4964E+01	-0.1116E+01
22	0.2199E+01	-0.1216E+01	0.8657E+00	-0.4731E+01	-0.1106E+01
23	0.2304E+01	0.1031E+01	0.2083E+01	-0.4292E+01	-0.1047E+01
24	0.2409E+01	0.3323E+01	0.3255E+01	-0.3665E+01	-0.9423E+00
25	0.2513E+01	0.5554E+01	0.4325E+01	-0.2877E+01	-0.7965E+00
26	0.2618E+01	0.7618E+01	0.5242E+01	-0.1964E+01	-0.6160E+00
27	0.2723E+01	0.9413E+01	0.5956E+01	-0.9652E+00	-0.4086E+00
28	0.2827E+01	0.1085E+02	0.6427E+01	0.7591E-01	-0.1833E+00
29	0.2932E+01	0.1184E+02	0.6626E+01	0.1114E+01	0.5004E-01
30	0.3037E+01	0.1233E+02	0.6533E+01	0.2103E+01	0.2812E+00
31	0.3142E+01	0.1228E+02	0.6142E+01	0.3000E+01	0.5000E+00

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.9191E+01, \tilde{a}_{12} = 0.1698E+02, \tilde{b}_{11} = 0.9306E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.4969E+01, \tilde{a}_{22} = 0.8732E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1788E+01. \end{aligned} \quad (29.2C)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.9191E+01, \tilde{a}_{12} = 0.1698E+02, \tilde{b}_{11} = 0.9306E+00, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.4969E+01, \tilde{a}_{22} = 0.8732E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1788E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (29.3C)$$

Вариант 30С

Таблица 30.1С – Таблица результатов измерений входного сигнала и переменных состояния

Номер шага	Время t	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u_1(t)$	$u_2(t)$
1	0.7854E+00	0.8047E+00	0.3333E+00	0.6000E+01	0.3000E+01
2	0.8378E+00	0.1077E+01	0.4564E+00	0.6072E+01	0.3088E+01
3	0.8901E+00	0.1340E+01	0.5740E+00	0.6077E+01	0.3142E+01
4	0.9425E+00	0.1591E+01	0.6846E+00	0.6015E+01	0.3162E+01
5	0.9948E+00	0.1827E+01	0.7864E+00	0.5888E+01	0.3147E+01
6	0.1047E+01	0.2045E+01	0.8780E+00	0.5696E+01	0.3098E+01
7	0.1100E+01	0.2240E+01	0.9580E+00	0.5442E+01	0.3015E+01
8	0.1152E+01	0.2411E+01	0.1025E+01	0.5128E+01	0.2899E+01
9	0.1204E+01	0.2556E+01	0.1078E+01	0.4758E+01	0.2751E+01
10	0.1257E+01	0.2671E+01	0.1116E+01	0.4336E+01	0.2572E+01
11	0.1309E+01	0.2755E+01	0.1139E+01	0.3866E+01	0.2366E+01
12	0.1361E+01	0.2806E+01	0.1145E+01	0.3354E+01	0.2134E+01
13	0.1414E+01	0.2823E+01	0.1134E+01	0.2805E+01	0.1878E+01
14	0.1466E+01	0.2806E+01	0.1106E+01	0.2226E+01	0.1602E+01
15	0.1518E+01	0.2754E+01	0.1062E+01	0.1622E+01	0.1308E+01
16	0.1571E+01	0.2667E+01	0.1000E+01	0.1000E+01	0.1000E+01
17	0.1623E+01	0.2545E+01	0.9221E+00	0.3674E+00	0.6809E+00
18	0.1676E+01	0.2389E+01	0.8282E+00	-0.2693E+00	0.3544E+00
19	0.1728E+01	0.2200E+01	0.7193E+00	-0.9030E+00	0.2401E-01
20	0.1780E+01	0.1980E+01	0.5963E+00	-0.1527E+01	-0.3067E+00
21	0.1833E+01	0.1731E+01	0.4602E+00	-0.2134E+01	-0.6340E+00
22	0.1885E+01	0.1455E+01	0.3124E+00	-0.2718E+01	-0.9543E+00
23	0.1937E+01	0.1154E+01	0.1542E+00	-0.3272E+01	-0.1264E+01
24	0.1990E+01	0.8314E+00	-0.1269E-01	-0.3790E+01	-0.1560E+01
25	0.2042E+01	0.4903E+00	-0.1867E+00	-0.4266E+01	-0.1839E+01
26	0.2094E+01	0.1340E+00	-0.3660E+00	-0.4696E+01	-0.2098E+01
27	0.2147E+01	-0.2340E+00	-0.5488E+00	-0.5075E+01	-0.2334E+01
28	0.2199E+01	-0.6100E+00	-0.7332E+00	-0.5397E+01	-0.2544E+01
29	0.2251E+01	-0.9902E+00	-0.9172E+00	-0.5661E+01	-0.2727E+01
30	0.2304E+01	-0.1371E+01	-0.1099E+01	-0.5863E+01	-0.2879E+01
31	0.2356E+01	-0.1748E+01	-0.1276E+01	-0.6000E+01	-0.3000E+01

1) Метод максимального правдоподобия:

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.3184E+01, \tilde{a}_{12} = 0.5157E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1004E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.2076E+01, \tilde{a}_{22} = 0.3046E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1000E+01. \end{aligned} \quad (30.2C)$$

2) Метод последовательной регрессии ($\varepsilon = 0.1E - 06$).

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{11} &= -0.3184E+01, \tilde{a}_{12} = 0.5157E+01, \tilde{b}_{11} = 0.1004E+01, \\ \tilde{a}_{21} &= -0.2076E+01, \tilde{a}_{22} = 0.3046E+01, \tilde{b}_{22} = 0.1000E+01, (r = 30). \end{aligned} \quad (30.3C)$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Черепанов О. И. Идентификация и диагностика систем : учеб. пособие / О. И. Черепанов, Р. О. Черепанов, Р. А. Кректулева. – Томск : ФДО, ТУСУР, 2016. – 143 с.
2. Гроп Д. Методы идентификации систем / Д. Гроп. – М. : Мир, 1979. – 302 с.
3. Сейдж Э. П. Идентификация систем управления / Э. П. Сейдж, Д. Л. Мелса. – М. : Наука, 1974. – 246 с.
4. Бабе Г. Д. Идентификация моделей гидравлики / Г. Д. Бабе, Э. А. Бондарев, А. Ф. Воеводин, М. А. Каниболотский. – Новосибирск : Наука, Сибирское отделение, 1980. – 160 с.
5. Зельдович Я. Б. Элементы прикладной математики / Я. Б. Зельдович, А. Д. Мышкис. – М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит.-ры, 1972. – 592 с.
6. Берман Г. И. Сборник задач по курсу математического анализа : учеб. пособие / Г. И. Берман. – 22-е изд., перер. – СПб. : Профессия, 2003. – 432 с.
7. Креер Л. И. Сборник упражнений по дифференциальным уравнениям / Л. И. Креер. – М. : Гос. уч.-пед. изд-во Наркомпроса РСФСР, 1940. – 160 с.
8. Хайрер Э. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Нежесткие задачи : пер. с англ. / Э. Хайрер, С. Нёрсетт, Г. Ваннер. – М. : Мир, 1990. – 512 с.
9. Афанасьев В. Н. Математическая теория конструирования систем управления : учебник для вузов / В. Н. Афанасьев, В. Б. Колмановский, В. Р. Носов. – 3-е изд., испр. и доп. – М. : Высш. шк., 2003. – 614 с.
10. Годунов С. К. Разностные схемы. (Введение в теорию) : учеб. пособие / С. К. Годунов, В. С. Рябенький. – М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1973. – 400 с.
11. Самохин А. Б. ФОРТРАН и вычислительные методы / А. Б. Самохин, А. С. Самохина. – М. : Русина, 1994. – 120 с.