Задача 1

1. Определить передаточную функцию от u к y для системы, изображенной на рисунке 1, где $W_1 = \frac{1}{0{,}01p^2+1}$, $W_2 = W_3 = p$, $W_4 = 0,1$, $p = \frac{d}{dt}$.

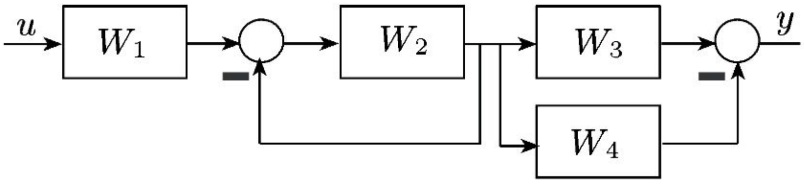


Рис. 1: Структурная схема системы управления

2. Записать дифференциальное уравнение системы с полученной передаточной функцией.

3. Построить логарифмическую амплитудно-частотную характеристику (ЛАЧХ) для системы с передаточной функцией из пункта 1.

4. Исследовать устойчивость замкнутой и разомкнутой систем, если передаточная функция разомкнутой найдена в пункте 1.

Решение

1. **Определить передаточную функцию от u к y для системы, изображенной на рисунке 1. (6 баллов)**

   (a) Преобразуем часть с обратной связью

   $$W_2' = \frac{W_2}{1+W_2} = \frac{p}{1+p}.$$

   (b) Участок цепи с параллельным соединением имеет передаточную функцию

   $$W_{34} = p - 0,1.$$

(c) Преобразовывая цепь трех последовательных соединений W_1, W_2', W_{34}, получим передаточную функция от от u к y

$$W_{uy} = W_1 \cdot W_2' \cdot W_{34} = \frac{p\,(p-0,1)}{(0,01p^2+1)\,(1+p)}.$$

2. **Записать дифференциальное уравнение системы с полученной передаточной функцией. (3 балла)**

Данная система представляет собой систему с одним входом u и одним выходом y. Найдем собственный оператор $Q(p)$ и оператор воздействия $P(p)$, зная, что $W_{uy} = \frac{P(p)}{Q(p)}$:

$$P(p) = p^2 - 0,1p, \quad Q(p) = 0,01p^3 + 0,01p^2 + p + 1.$$

В символической форме дифференциальное уравнение можно записать как

$$Q(p)y(t) = P(p)u(t).$$

Вспомнив, что $p = \frac{d}{dt}$, а $p^i = \frac{d^i}{dt^i}$, выпишем дифференциальное уравнение

$$0,01\dddot{y}(t) + 0,01\ddot{y}(t) + \dot{y}(t) + y(t) = \ddot{u}(t) - 0,1\dot{u}(t).$$

3. **Построить ЛАЧХ для системы с передаточной функцией из пункта 1. (7 баллов)**

Перейдем от передаточной функции в операторной форме к передаточной функции в изображениях Лапласа

$$W_{uy}(s) = W_{uy}(p)|_p = s, \quad s \in \mathbb{C},$$

т.е. $W_{uy}(s) = \frac{s(s-0,1)}{(0,01s^2+1)(1+s)}$.

Представим $W_{uy}(s)$ в виде $\frac{k}{s^\nu}W^0(s)$, где $W^0(s)$ – отношение произведений элементарных множителей первого и второго порядков с единичным передаточным коэффициентом типа $Ts \pm 1$, $Ts^2 \pm bs + 1$ $(b^2 - 4T^2 < 0)$.

В данном случае $W_{uy}(s) = \frac{0,1s(10s-1)}{(0,01s^2+1)(s+1)}$, значит, $k = 0,1, \quad \nu = -1$. Передаточная функция состоит из следующих элементарных звеньев: $W^1(s) = 10s - 1$ – форсирующее звено первого порядка с постоянной времени $T_1 = 10$; $W^2(s) = \frac{1}{0,01s^2+1}$ – консервативное звено с $T_2 = 0,1$; $W^3(s) = \frac{1}{s+1}$ – апериодическое звено с $T_3 = 1$.

Сопрягающие частоты вычислим по формуле $\omega_i = \frac{1}{T_i}, i = \overline{1,3}$: $\omega_1 = 0,1, \quad \omega_2 = 10, \quad \omega_3 = 1$, расположим их в порядке возрастания:

$\widetilde{\omega}_1 = \omega_1 = 0,1$ (соответствует звену $W^1(s) = 10s - 1$),

$\widetilde{\omega}_2 = \omega_3 = 1$ (соответствует звену $W^3(s) = \frac{1}{s+1}$),

$\widetilde{\omega}_3 = \omega_2 = 10$ (соответствует звену $W^2(s) = \frac{1}{0{,}01s^2+1}$).

Теперь на оси абсцисс отметим сопрягающие частоты в логарифмическом масштабе, т.е. укажем точки -1, 0, 1, а также точку с координатами $(1, 20\lg k) = (1, -20)$, через которую пройдет первая асимптота.

- Первая асимптота проходит через точку $(1, -20)$ под углом наклона $\varphi_1 = \nu \cdot 20 = -20$ дБ/дек при $\lg\omega \leqslant \lg\widetilde{\omega}_1 = -1$.
- Вторая асимптота начинается из конца первой, по частоте проходит в диапазоне $-1 < \lg\omega \leqslant lg\widetilde{\omega}_2 = 0$. Ее наклон изменяется на 20 дБ/дек, так как $\widetilde{\omega}_1$ обуславливается элементарным множителем первого порядка в числителе, т.е. $\varphi_2 = 0$ дБ/дек.
- Третья асимптота начинается из конца второй, по частоте проходит в диапазоне $0 < \lg\omega \leqslant lg\widetilde{\omega}_3 = 1$. Ее наклон изменяется на -20 дБ/дек, так как $\widetilde{\omega}_2$ обуславливается элементарным множителем первого порядка в знаменателе, т.е. $\varphi_3 = -20$ дБ/дек.
- Четвертая асимптота начинается из конца третьей, по частоте проходит в диапазоне $\lg\omega > 1$. Ее наклон изменяется на -40 дБ/дек, так как $\widetilde{\omega}_2$ обуславливается элементарным множителем второго порядка в знаменателе, т.е. $\varphi_4 = -60$ дБ/дек.

4. **Исследовать устойчивость замкнутой и разомкнутой систем, если передаточная функция разомкнутой найдена в пункте 1. (4 баллов)**

   Характеристический полином разомкнутой системы имеет вид

$$Q(p)|_{p=\lambda} = 0,01\lambda^3 + 0,01\lambda^2 + \lambda + 1, \quad \lambda \in \mathbb{C}.$$

   Все коэффициенты полинома положительны, значит, выполнено необходимое условие устойчивости ($a_0 = 0,01$; $a_1 = 0,01$; $a_2 = 1$; $a_3 = 1$). Для полинома третьего порядка можно проверить критерий Льенара-Шипара в качестве достаточного условия в следующем виде:

$$\Delta_2 = a_1 a_2 - a_0 a_3 = 0.$$

   Критерий не выполнен. Корни характеристического уравнения в этом случае $\lambda_1 = -1, \quad \lambda_{2,3} = 0 \pm 10i$. Корни $\lambda_{2,3}$ имеют нулевую

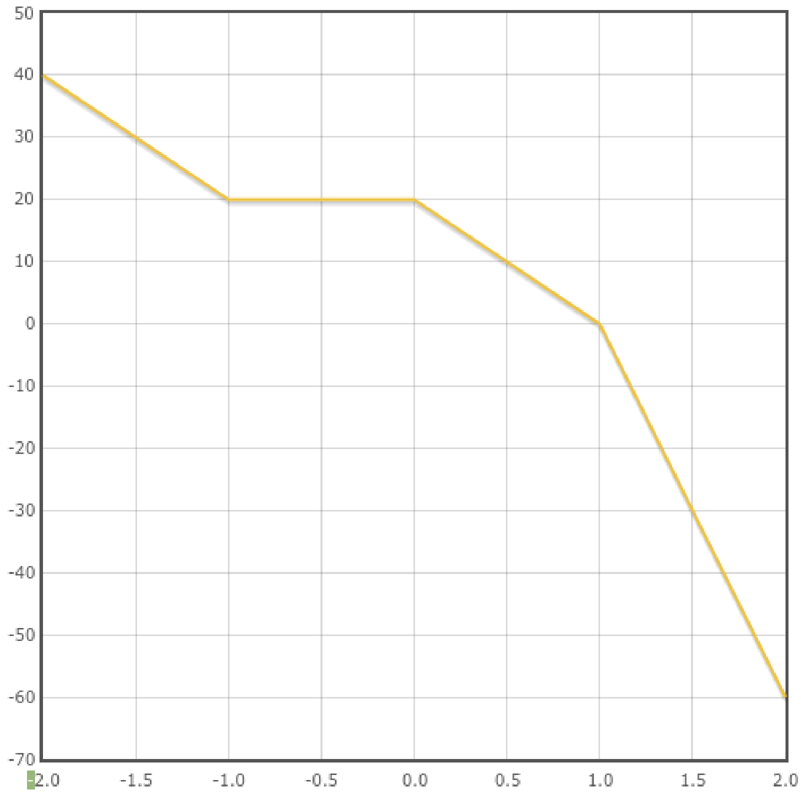


Рис. 2: ЛАЧХ системы для частоты в логарифмическом масштабе

действительную часть, значит, система находится на границе устойчивости.

Характеристический полином замкнутой системы имеет вид

$$(Q(p) + P(p))|_{p=\lambda} = 0,01\lambda^3 + 1,01\lambda^2 + 0,9\lambda + 1.$$

Все коэффициенты полинома положительны, значит, выполнено необходимое условие устойчивости ($a'_0 = 0,01$; $a'_1 = 1,01$; $a'_2 = 0,9$; $a'_3 = 1$). Проверим критерий Льенара-Шипара : $\Delta_2 = a'_1 a'_2 - a'_0 a'_3 = 0,899 > 0$. Замкнутая система устойчива.

Задача 2.

Пусть A – идемпотентная матрица размера n×n (т.е. $A^2 = A$), E – единичная матрица размера n×n. Вычислить определитель матрицы (A–E).

Решение.

Рассмотрим выражение $(A–E)^2$

$(A-E)^2 = A^2 - 2AE + E^2 = E^2 - A = -(A-E)$, следовательно

$\det[(A-E)^2] = \det[-(A-E)]$.

Используя свойства определителей:

$$\det(A \cdot B) = \det A \cdot \det B$$

$\det(k \cdot A) = k^n \cdot \det A$, переходим к уравнению:

$$\det^2(A-E) = (-1)^n \cdot \det(A-E)$$

Отсюда получаем два решения:

$\det(A-E) = 0$ *или* $\det(A-E) = (-1)^n$.

Задача 3.

Дана функция на языке программирования Python:

```
def recur(n, c0, c1):
   if n == 0:
      return c0
   elif n == 1:
      return c1
   else:
      return 2020*recur(n-1, c0, c1) - 2019*recur(n-2, c0, c1)
```

Диапазон определения целых чисел считать неограниченным (т.е., целые числа не переполняются), размер стека также считать неограниченным (т.е. максимальное число рекурсивных вызовов не ограничено).

Найти и отобразить на плоскости $c_0 - c_1$ область значений параметров c_0 и c_1, таких, что результат вызова recur(n, c_0, c_1)будет строго меньше чем 2018^n.

1. Для всех целых n≥0
2. Для всех целых n≥1

Решение.

Функция на языке программирования Python задает следующее рекуррентное соотношение:

$$a_n = 2020\, a_{n-1} - 2019\, a_{n-2}\,. \tag{1}$$

Соотношение (1) является линейным рекуррентным соотношением второго порядка. Для нахождения общего члена последовательности составим характеристическое уравнение

$$\lambda^2 - 2020\lambda + 2019 = 0. \tag{2}$$

Корни уравнения (2) легко определяются по теореме Виета: $\lambda_1 = 2019, \lambda_2 = 1$. Так как $\lambda_1 \neq \lambda_2$, то выражение для a_n будет иметь вид

$$a_n = A_1\lambda_1^n + A_2\lambda_2^n = A_1 2019^n + A_2, \tag{3}$$

где коэффициенты A_1 и A_2 определяются из начальных условий

$$\begin{cases} a_0 = A_1 + A_2 = c_0, \\ a_1 = 2019A_1 + A_2 = c_1. \end{cases} \tag{4}$$

Решая (4) относительно A_1и A_2, получаем

$$A_1 = \frac{c_1 - c_0}{2018}, \quad A_2 = \frac{2019c_0 - c_1}{2018}. \tag{5}$$

Учитывая, что по условию задачи результат вызова функции должен быть меньше 2018^n , то при $n = 0$ получаем ограничение

$$a_0 = c_0 < 2018^0 = 1. \tag{6}$$

При $n = 1$ будем иметь

$$a_1 = c_1 < 2018^1 = 2018. \tag{7}$$

Теперь рассмотрим случай $n > 1$:

$$a_n = A_1 2019^n + A_2 < 2018^n. \tag{8}$$

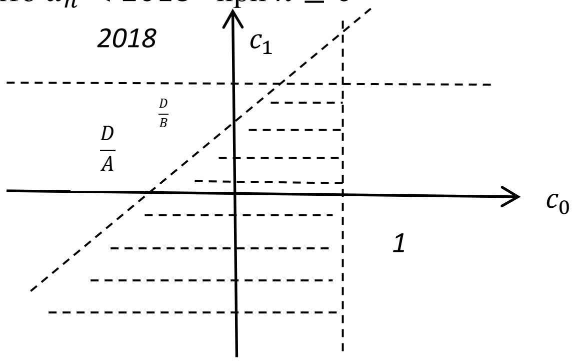
Учитывая (5) и умножая левую и правую части неравенства (8) на 2018, получим

$$c_1(2019^n - 1) + c_0(2019 - 2019^n) < 2018^{n+1}. \tag{9}$$

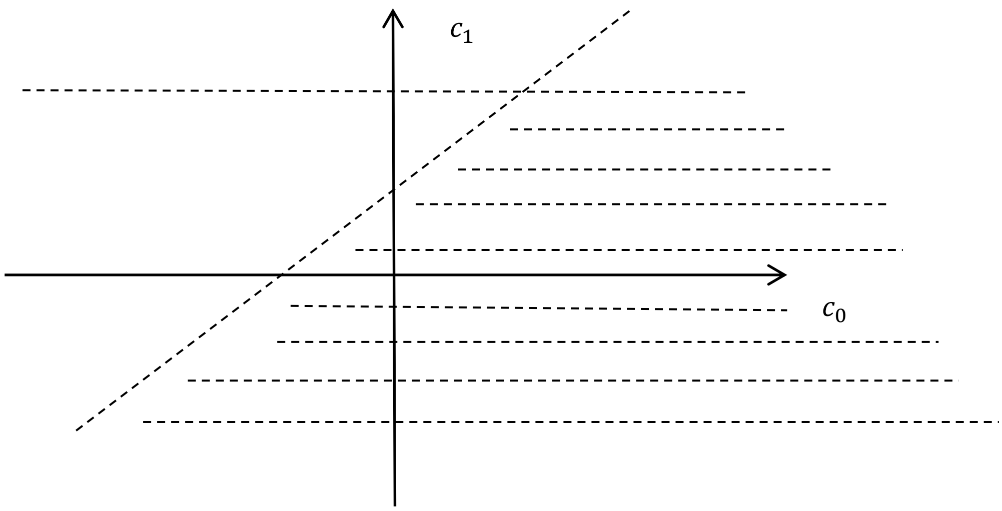
Введем обозначения $A = (2019 - 2019^n)$, $B = (2019^n - 1)$, $D = 2018^{n+1}$. Заметим, что при $n > 1 \Longrightarrow A < 0, B > 0, D > 0$. Тогда (9) запишется в виде

$$c_1 < -\frac{A}{B}c_0 + \frac{D}{B}. \tag{10}$$

Принимая во внимание (6), (7), (10) найдем на плоскости $c_0 - c_1$ область значений параметров c_0 и c_1, таких, что $a_n < 2018^n$ при $n \geq 0$



При $n \geq 1$, учитывая (7) и (10), получим следующее геометрическое место точек



Задача 4

Электрическая линия обслуживает N однотипных устройств, каждое из которых независимо от других может нуждаться в потреблении энергии. Длины интервалов времени, в течении которых устройство использует электроэнергию, – случайные величины со средним значением a (часов). Длины интервалов простоя устройства (электроэнергия не используется) – случайные величины со средним значением b (часов). Предполагая, что все указанные случайные величины независимы и имеют экспоненциальное распределение, ответить на следующие вопросы:

1. Пусть в момент времени $t = 0$ ни одно из устройств не использует электроэнергию. Найти, сколько в среднем времени пройдет до первого подключения какого-либо устройства к линии.

2. Найти вероятность того, что первым к линии подключится устройство с номером 1 и во время его работы ни одно из остальных устройств (с номерами $2, \ldots, N$) не подключится к линии.

3. Предположим, что электролиния оснащена контроллером, задача которого уменьшать максимальную нагрузку на линию. Алгоритм его работы следующий: если устройство с номером j подключается к линии в момент, когда на линии уже есть s устройств, то длина интервала работы устройства j имеет, по-прежнему, экспоненциальное распределение, но со средним значением $a_s \leq a$. Для установившегося режима найти, сколько в среднем часов в течение суток (24 ч) линия будет под максимальной нагрузкой (подключены все устройства), если $a_s = a, \quad 1 \leq s \leq N-1, \quad a_N = a/2$.

Решение.

1. Обозначим ξ_i^k - длительность k-го интервала работы (т.е. k- го подключения к электрической линии) устройства с номером i,

η_i^k - длительность k-го интервала простоя устройства с номером i. Тогда в силу условий задачи выполнено следующее:

(I) с.в. ξ_i^k, η_i^k $(i = 1, \ldots N,\ k = 1, \ldots)$ взаимно независимы;

(II) с.в. ξ_i^k имеют экспоненциальное распределение с параметром $1/a$, с.в. η_i^k имеют экспоненциальное распределение с параметром $1/b$.

Если в момент времени $t = 0$ ни одно из устройств не подключено к линии, то *интервал простоя электролинии* (интервал времени до момента первого подключения какого-либо устройства) - случайная величина $\nu_N = \min\left\{\eta_1^1, \eta_2^1, \ldots, \eta_N^1\right\}$. Используем следующее свойство экспоненциальных распределений:

(III) *если $\beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_m$ являются независимыми экспоненциальными с.в. с параметрами $\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_m$ соответственно, то с.в. $\sigma = \min(\beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_m,)$ распределена экспоненциально с параметром $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_m$.* Следовательно, интервал до первого подключения какого-либо устройства к линии имеет экспоненциальное рапределение с параметром

$$v = \frac{1}{b} + \frac{1}{b} + \ldots + \frac{1}{b} = \frac{N}{b}$$

Ответ на вопрос 1: в среднем пройдет b/N ч до первого подключения какого-либо устройства к линии.

2. Вероятность p, которую нужно найти в пункте 2 имеет вид:

$$p = P\left(\eta_1^1 + \xi_1^1 < \min\left\{\eta_2^1, \ldots, \eta_N^1\right\}\right)$$

Используя (I) и формулу вероятности попадания в область, можно записать

$$p = \iiint\limits_{x+y<z} f_1(x) f_2(y) f_3(z)\, dz dy dx =$$

$$= \int\limits_0^{+\infty}\int\limits_0^{+\infty}\left(f_1(x) f_2(y)\left(\int\limits_{x+y}^{+\infty} f_3(z)\, dz\right)\right) dydx$$

где f_1– плотность распределения с.в. η_1^1, f_2 – плотность распределения с.в. ξ_1^1, f_3 – плотность распределения с.в. $\upsilon = \min\{\eta_2^1, \ldots, \eta_N^1\}$. Заметим, что согласно (III), с.в. $\upsilon = \min\{\eta_2^1, \ldots, \eta_N^1\}$ распределена по экспоненциальному закону с параметром $\frac{N-1}{b}$. Обозначим

$$\beta = \frac{1}{b}, \quad \alpha = \frac{1}{a}$$

Тогда

$$f_1(x) = \begin{cases} \beta e^{-\beta x}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

$$f_2(y) = \begin{cases} \alpha e^{-\alpha y}, & y \geq 0 \\ 0, & y < 0 \end{cases}$$

$$f_3(z) = \begin{cases} (N-1)\,\beta e^{-(N-1)\beta z}, & z \geq 0 \\ 0, & z < 0 \end{cases}$$

Легко видеть, что

$$\int\limits_{x+y}^{+\infty} f_3(z)\, dz = e^{-(N-1)\beta(x+y)}$$

Отсюда

$$p = \int\limits_0^{+\infty}\int\limits_0^{+\infty}\left(\beta e^{-\beta x}\alpha e^{-\alpha y} e^{-(N-1)\beta(x+y)} dydx\right) =$$

$$= \left(\int\limits_0^{+\infty} \beta e^{-N\beta x} dx\right)\left(\int\limits_0^{+\infty} \alpha e^{-y(\alpha+\beta(N-1))} dy\right) =$$

$$= \frac{1}{N}\cdot\left(\frac{\alpha}{\alpha+\beta(N-1)}\right)$$

Ответ на вопрос 2:

$$\frac{1}{N}\cdot\left(\frac{\alpha}{\alpha+\beta(N-1)}\right) = \frac{1}{N}\cdot\left(\frac{\frac{1}{a}}{\frac{1}{a}+\frac{(N-1)}{b}}\right) = \frac{1}{N}\left(\frac{b}{b+a(N-1)}\right)$$

3. Определим случайный процесс $X(t)$ - число устройств, использующих электроэнергию в момент времени t. В силу (I) и (II) с.п. $X(t)$ является однородным марковским процессом с пространством состояний $\{0, 1, \ldots, N\}$ и с матрицей интенсивностей $Q = (q_{sj})$ (инфинитезимальной матрицей) следующего вида

$$q_{s,s+1} = \frac{N-s}{b}, \quad 0 \leq s \leq N-1$$

$$q_{s,s-1} = \frac{s}{a}, \quad 1 \le s \le N-1$$

$$q_{N,N-1} = \frac{N-1}{a} + \frac{2}{a} = \frac{N+1}{a}$$

$$q_{ss} = -\sum_{j \ne s} q_{sj} = \begin{cases} -\left(\frac{s}{a} + \frac{N-s}{b}\right), & 0 \le s \le N-1 \\ -\left(\frac{N+1}{a}\right), & s = N \end{cases}$$

Остальные q_{sk} равны 0. Таким образом, $X(t)$ – процесс гибели-рождения. Поэтому можно воспользоваться известными формулами для процессов гибели-рождения. Обозначим через λ_s интенсивности рождения

$$\lambda_s = q_{s,s+1} = \frac{N-s}{b}, \quad 0 \le s \le N-1, \quad \lambda_N = 0$$

и μ_s интенсивности гибели

$$\mu_0 = 0, \quad \mu_s = q_{s,s-1} = \frac{s}{a}, \quad 1 \le s \le N-1, \quad \mu_N = \left(\frac{N+1}{a}\right)$$

Обозначим $\pi = (\pi_0, \pi_1, \ldots, \pi_N)$ строку из стационарных вероятностей (что и соответствует *установившемуся режиму*). Тогда известно, что

$$\pi_k = \frac{\lambda_0 \lambda_1 \cdot \ldots \cdot \lambda_{k-1}}{\mu_1 \mu_2 \cdot \ldots \cdot \mu_k} \pi_0 \tag{1}$$

и π_0 определяется из условия нормировки:

$$\sum_{k=0}^{N} \pi_k = 1 \tag{2}$$

Чтобы ответить на вопрос, сколько в среднем часов в течение суток (24 ч) линия будет под максимальной нагрузкой (подключены все устройства), необходимо вычислить π_N, так как в установившемся режиме вероятность π_N равна доли времени, когда к линии подключено N устройств.

Обозначим $\rho_k = \frac{\lambda_0 \lambda_1 \cdot \ldots \cdot \lambda_{k-1}}{\mu_1 \mu_2 \cdot \ldots \cdot \mu_k}$ и $w = \frac{a}{b}$. Тогда

$$\rho_k = \frac{N(N-1) \cdot \ldots \cdot (N-(k-1))}{1 \cdot 2 \cdot \ldots \cdot k} w^k = C_N^k w^k, \quad 1 \le k \le N-1$$

и

$$\rho_N = \frac{N(N-1) \cdot \ldots \cdot 1}{1 \cdot 2 \cdot \ldots \cdot (N-1)(N+1)} w^N = \frac{N}{(N+1)} w^N$$

Из (1)-(2) имеем

$$\pi_0 \sum_{k=0}^{N} \rho_k = 1$$

$$\sum_{k=0}^{N-1} \rho_k = \sum_{k=0}^{N-1} C_N^k w^k = \sum_{k=0}^{N} C_N^k w^k - C_N^N w^N = (1+w)^N - w^N$$

$$\sum_{k=0}^{N} \rho_k = (1+w)^N - w^N + \frac{N}{(N+1)} w^N = (1+w)^N - \frac{w^N}{N+1} = \frac{(N+1)(1+w)^N - w^N}{(N+1)}$$

Отсюда

$$\pi_0 = \frac{(N+1)}{(N+1)\,(1+w)^N - w^N}$$

Тогда

$$\begin{aligned}\pi_N = \rho_N \pi_0 = \frac{N}{(N+1)} w^N \pi_0 &= \frac{N}{(N+1)} w^N \frac{(N+1)}{(N+1)\,(1+w)^N - w^N} \\ &= \frac{N w^N}{(N+1)\,(1+w)^N - w^N}\end{aligned}$$

или

$$\pi_N = \frac{N}{(N+1)\,(1+\frac{1}{w})^N - 1}$$

В обозначениях задачи:

$$\sum_{k=0}^{N-1} \rho_k = \sum_{k=0}^{N-1} C_N^k w^k = (1+w)^N - w^N = \left(1+\frac{a}{b}\right)^N - \left(\frac{a}{b}\right)^N$$

$$\sum_{k=0}^{N} \rho_k = \left(\frac{a+b}{b}\right)^N - \left(\frac{a}{b}\right)^N + \frac{N}{(N+1)}\left(\frac{a}{b}\right)^N = \frac{(N+1)\,(a+b)^N - a^N}{(N+1)\,b^N}$$

$$\pi_0 = \frac{(N+1)\,b^N}{(N+1)\,(a+b)^N - a^N}$$

$$\begin{aligned}\pi_N = \rho_N \pi_0 = \frac{N}{(N+1)} w^N \pi_0 &= \frac{(N+1)\,b^N}{(N+1)\,(a+b)^N - a^N} \frac{N}{(N+1)} \left(\frac{a}{b}\right)^N \\ &= \frac{N a^N}{(N+1)\,(a+b)^N - a^N} = \frac{N}{(N+1)\left(1+\frac{a}{b}\right)^N - 1}\end{aligned}$$

Ответ на вопрос 3: в течение суток (24 ч) линия будет под максимальной нагрузкой (подключены все устройства) в среднем в течении

$$24\pi_N = \frac{24 N a^N}{(N+1)\,(a+b)^N - a^N}$$

часов или

$$\frac{24N}{(N+1)\,(1+\frac{a}{b})^N - 1}$$

.

Задача 5.

Определить значения переменных *a, b, c, d, a1,b1,c1,d1,* а также содержимое массивов *buf* и *buff* после выполнения программы на языке программирования Си в UNIX–подобной операционной системе при условии, что файла *a.txt* не существует в текущей директории. Обосновать свое решение.

```
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
#include <sys/types.h>

void  main()
{
        int a = 2, b = 2, c = 2, d = 2, a1 = 0, b1 = 0, c1 = 0, d1 = 0, p[2];          //1
        char buf[80], buff[80];                                                        //2
        buf[0] = 0; buff[0] = 0;                                                       //3
        close(0);                                                                      //4
        pipe(p);                                                                       //5
        if(fork() == 0)                                                                //6
        {
                close(1);                                                              //7.1
                creat("a.txt", 466);                                                   //7.2
                close(p[0]);                                                           //7.3
                open("a.txt", 0);                                                      //7.4
                printf("date\n");                                                      //7.5
                a = read(0, buf, 2);                                                   //7.6
                b = write(p[1], "hello", 5);                                           //7.7
                c = read(a1, buff, 4);                                                 //7.8
                buff[c] = '\0';                                                        //7.9
                d = write(1, buff, 3);                                                 //7.10
                _exit(1);                                                              //7.11
        }
        else
        {
                wait(&b1);                                                             //6.1
                close(p[1]);                                                           //6.2
```

```
            scanf("%s", buf);                              //6.3
            a1 = read(p[0], buf, 6);                       //6.4
            c1 = open("a.txt" ,0);                         //6.5
            d1 = read(c1, &buff[a1], 5);                   //6.6
        }
}
```

Решение.

При «запуске» программы операционная система создает процесс и одновременно автоматически открывает для него файлы стандартного ввода, стандартного вывода и стандартного протокола с пользовательскими дескрипторами файлов **0,** **1** и **2**, соответственно, т.е. информация об этих файлах запишется в 0-ой, 1-ой и 2-ой строках таблицы пользовательских дескрипторов файлов (ТПДФ) открытых процессом. Далее, при выполнении процесса сначала выделяется память под переменные **a, b, c, d, a1, b1, c1, d1**(п. 1) и массивы **p, buf, buff** (пп. 1, 2), осуществляется инициализация данных (пп. 1, 3), закрывается файл с пользовательским дескриптором **0** (**close(0);** п. 4). При закрытии файла строка с индексом 0 в ТПДФ освобождается. После этого открываются два файла с пользовательскими дескрипторами **p[0]** и **p[1]** (п. 5), причем они занимают первые свободные строки в ТПДФ процесса, т.е. **p[0]=0, p[1]=3**.

На следующем этапе выполняется системный вызов (СВ) **fork()** (п. 6). Процесс разбивается на две копии («процесс-отец» и « процесс-сын»), которые начинают выполняться параллельно. Значения всех переменных, массивов и открытых файлов на начальном этапе выполнения идентичны для обоих процессов.

«Процесс-сын» сначала закрывает файл с пользовательским дескриптором **1** (п. 7.1), тем самым освобождая строку в ТПДФ с номером **1**, далее создает файл **a.txt** (п. 7.2) с правами доступа **466** в десятичной системе счисления (легко убедиться, что указанные права доступа позволяют владельцу файла читать, писать и выполнять этот файл). СВ **creat**() не только создает файл, но и одновременно открывает его на запись. Информация о созданном файле записывается в первую свободную строку ТПДФ. Номер этой строки - **1**. Далее закрывается файл с пользовательским дескриптором **p[0]** (п. 7.3). В результате этого действия в ТПДФ процесса-сына освобождается строка с номером **0**. После выполнения СВ open() (п. 7.4) открывается файл **a.txt** для чтения (права доступа к файлу a.txt позволяют это сделать) и информация об открытом файле записывается в первую свободную строку ТПДФ процесса, т.е. пользовательский дескриптор этого открытого файла – **0**.

Далее выполняется инструкция **printf**() (п. 7.5)**.** По ней требуется записать в файл с пользовательским дескриптором 1 цепочку символов “date” . Но т.к. функция printf() работает с буферизацией, эта операция должна будет выполниться позже, после закрытия (или выталкивания) буфера.

На следующем шаге выполняется СВ **read()** (п. 7.6). Требуется записать в buf[] два байта из файла с пользовательским дескриптором 0, т.е. из файла a.txt. Но т.к. этот файл пока пустой – ничего записано не будет, СВ read() вернет 0, **a=0**, значение buf[] – не изменится.

Инструкция **write()** (п. 7.7) записывает в межпроцессный канал цепочку символов из 5 байтов. Возвращаемое значение **b=5**.

Пункт 7.8 – СВ **read()** требует чтения из файла с пользовательским дескриптором a1=0 4-х байтов с последующей записью их в buff[]. Это файл a.txt. Он открыт для чтения, но пока пустой. Поэтому СВ read() вернет 0, т.е. **c=0**. Значение buff[] – не изменится.

Далее выполняется СВ **write()** (п. 7.10). При его выполнении в файл с пользовательским дескриптором 1 должно записаться 3 байта памяти с указателя buff[]. Т.к. этот файл (a.txt) открыт на запись, операция выполнима и в файл будет записано 3 байта из памяти процесса-сына (скорее всего это будет «мусор» или пустота) начиная с &buff[0], **d=3**.

При выполнении СВ **_exit()** (п. 7.11) процесс-сын принудительно завершает свою работу. Буфера ввода-вывода так и не выталкиваются, поэтому никаких изменений не произойдет. Результаты выполнения процесса-сына занесены в таблицу(см. ниже).

«Процесс-отец» по СВ **wait()** (п. 6.1) ждет завершения «процесса-сына». После завершения «процесса-сына» в единственный аргумент СВ **wait()** запишется код завершения «процесса-сына». Т.к. «процесс-сын» завершается по СВ **_exit()**, код завершения его будет равен аргументу функции **exit()**, т.е. начиная с восьмого бита в переменную b1 запишется аргумент 1, или **b1=256**. Далее выполняется СВ **close(),** по которому файл с пользовательским дескриптором p[1] закрывается (п. 6.2). В ТПДФ процесса освобождается строка с номером 3.

На следующем шаге выполняется функция **scanf()** (п. 6.3). Из файла с пользовательским дескриптором 0 считывается строка символов в массив buf[]. Это межпроцессный канал, т.е. p[0]=0. Поэтому в **buf[]** запишется цепочка символов из межпроцессного канала – **“hello”.**

Далее из межпроцессного канала считывается еще 6 байтов (п. 6.4). Но т.к. вся информация из канала была уже считана на предыдущем шаге и канал закрыт на запись с другой стороны (со стороны процесса-сына), при чтении будет получен код ответа 0, что означает «конец файла», т.е. **a1=0**.

При выполнении СВ **open**() (п. 6.5) файл **a.txt** откроется для чтения. Возвращаемое значение будет равно номеру первой свободной записи из ТПДФ процесса. Номер этой записи 3, т.е. **c1=3**.

Последняя инструкция процесса-отца (п. 6.6) **read**() требует чтения из файла с пользовательским дескриптором c1=3 5-ти байтов с последующей записью в массив buff[]. Т.к. в файле a.txt записано всего 3 байта (см. п. 7.10) при чтении будет получен код ответа 3, т.е. **d1=3**. В массив buff[] запишется «мусор» или пустота. На этом выполнение «процесса-отца» завершается.

Итоговый ответ на решение задачи приведен в нижеследующей таблице.

	«процесс-сын»	**«процесс-отец»**
a	**0**	**2**
b	**5**	**2**
c	**0**	**2**
d	**3**	**2**
a1	**0**	**0**
b1	**0**	**256**
c1	**0**	**3**
d1	**0**	**3**
buf	**пусто**	**hello**
buff	**пусто**	**мусор или пусто**