

УДК 62-55:681.515

УПРОЩЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГУЛИРОВКИ ПЕРЕДАТЧИКА

Гостев В. И., Кунах Н. И., Ткаленко О. Н.

(Гос. унив-т информационно-коммуникационных технологий)

В работе рассмотрены вопросы упрощения структурных схем (математических моделей) систем автоматического регулирования мощности передатчика в адаптивных каналах радиосвязи. Показана возможность полного компенсирования замираний в канале радиопередачи, что позволяет с высокой точностью проводить исследования процессов только для упрощенных математических моделей, что значительно упрощает исследование реальных систем.

Известные в настоящее время системы автоматической регулировки мощности передатчиков (АРМП), математические модели которых хорошо изучены, состоят из двух основных каналов - прямого канала радиосвязи и обратного канала радиопередачи. В работе [1] получена точная общая энергетическая модель прямого радиоканала с замираниями на основе интерактивной системы MATLAB. построенная на основании уравнения передачи сигнала от радиопередатчика до радиоприемника с учетом затухания, запаздывания и замирания сигнала в среде распространения радиоволн.

Мощность сигнала в канале радиосвязи, выраженная в децибелах, на входе радиоприемника, при условии, что замирания и другие помехи в радиоканале отсутствуют, равна:

$$P_{0[\text{дБ}]} = 10 \lg \left(\frac{P_{\text{ПРМ}}[\text{Вт}]}{1 \text{ Вт}} \right) = P_{\text{прд}[\text{дБ}]} + G_{A_{\text{прд}[\text{дБ}]}} + G_{A_{\text{прм}[\text{дБ}]}} - L_{0[\text{дБ}]} \quad (1)$$

где $P_{0[\text{дБ}]} = 10 \lg \left(\frac{P_{\text{ПРМ}}[\text{Вт}]}{1 \text{ Вт}} \right)$ – мощность передатчика; $G_{A_{\text{прд}[\text{дБ}]}}$ и $G_{A_{\text{прм}[\text{дБ}]}}$ – коэффициенты усиления соответственно передающей и приемной антенн с учетом потерь в фидерных трактах передатчика и приемника; $L_{0[\text{дБ}]}$ – затухание сигнала на радиолинии, определяемое формулой $L_{0[\text{дБ}]} = 10 \lg \left(\frac{4\pi D}{\lambda} \right)^2$.

Для конкретного радиоканала его параметры (мощность передатчика $P_{\text{прд}[\text{дБ}]}$, длина волны колебаний несущей частоты $\lambda = c / f$, расстояние между передатчиком и приемником D , коэффициенты усиления передающей и приемной антенн с учетом потерь в фидерных трактах передатчика и приемника $G_{A_{\text{прд}[\text{дБ}]}}$, $G_{A_{\text{прм}[\text{дБ}]}}$) являются известными величинами, поэтому на основании формулы (1) можно расчетным путем определить мощность сигнала на входе радиоприемника $P_{\text{прм}[\text{дБ}]}$.

Если в канале радиосвязи появились замирания, которые привели к дополнительному затуханию мощности на $L_{\text{дон}[\text{дБ}]}$, то тогда мощность сигнала на входе радиоприемника равна:

$$P_{\text{прм}} = 10 \lg \left(\frac{P_{\text{ПРМ}}[\text{Вт}]}{1 \text{ Вт}} \right) = P_{0[\text{дБ}]} - L_{\text{дон}[\text{дБ}]} \quad (2)$$

Из формулы (2) дополнительное затухание мощности $L_{\text{дон}[\text{дБ}]}$ определяется так:

$$L_{\text{дон}[\text{дБ}]} = -10 \lg \left(\frac{P_{\text{нрм}[Bm]}}{1Bm} \right) + P_0[\text{дБ}] \quad (3)$$

Учитывая, что

$$P_{\text{нрм}[Bm]} = \frac{U_{\text{вых}[B]}^2}{K_{\text{нрм}}^2 R_{[Om]}} \quad (4)$$

получаем формулу для определения величины замираний в среде распространения радиоволн на выходе радиоприемника канала радиосвязи:

$$L_{\text{дон}[\text{дБ}]} = -10 \lg \left(\frac{U_{\text{вых}[B]}^2}{K_{\text{нрм}}^2 R_{[Om]}} \right) + P_0[\text{дБ}] \quad (5)$$

В качестве примера проведем примерный расчет энергетика прямого тракта системы автоматической регулировки мощности передатчика (АРМП). Допустим, что мощность радиопередатчика $P_{\text{нр}[\text{дБ}]} = 10Bm$, входное сопротивление входного каскада приемника $R = 25Om$, коэффициент усиления приемника $K_{\text{нрм}} = 200$.

Тогда мощность радиопередатчика в дБ:

$$P_{\text{нр}[\text{дБ}]} = 10 \lg \left(\frac{P_{\text{нрм}[Bm]}}{1Bm} \right) = 10 \text{дБ} \quad (6)$$

Допустим, что коэффициенты усиления передающей и приемной антенн с учетом потерь в фидерных трактах передатчика и приемника в сумме $G_{A_{\text{нр}[\text{дБ}]}} + G_{A_{\text{пр}[\text{дБ}]}} = 25 + 25 = 50 \text{дБ}$, а затухание сигнала на радиолинии, определяемое

формулой $L_{0[\text{дБ}]} = 10 \left(\frac{4\pi D}{\lambda} \right)^2$, равно 120дБ. Тогда мощность сигнала на входе радиоприемника, при условии, что замирания и другие помехи в радиоканале отсутствуют, на основании формулы (6) равна:

$$P_{\text{нр}[\text{дБ}]} = 10 \lg \left(\frac{P_{\text{нрм}[Bm]}}{1Bm} \right) = 10 + 25 + 25 - 120 = -60[\text{дБ}]$$

Отсюда

$$\lg \left(\frac{P_{\text{нрм}[Bm]}}{1Bm} \right) = -6 \quad \text{или} \quad \left(\frac{P_{\text{нрм}[Bm]}}{1Bm} \right) = 10^{-6}.$$

Тогда:

$$P_{\text{нрм}[Bm]} = P_{0[Bm]} = 10^{-6}$$

Итак, мощность сигнала на входе приемника при условии, что замирания и другие помехи в радиоканале отсутствуют, равна $P_{0[\text{дБ}]} = -60[\text{дБ}]$ или $P_{0[Bm]} = 1 \text{мкВт}$.

При входном сопротивлении входного каскада приемника $R = 25Om$ и коэффициенте усиления приемника $K_{\text{нрм}} = 200$ напряжение установки на выходе приемника равно:

$$U_{0[B]} = K_{\text{нрм}} / P_{0[Bm]} \cdot R_{[Om]} = 200 \sqrt{10^{-6} \cdot 25} = 1B.$$

Для рассматриваемого примера при заданных входном сопротивлении входного каскада приемника $R=25$ Ом и коэффициенте усиления приемника $K_{\text{прм}}=200$ запишем формулу (5) в цифровом виде: $L_{\text{дон}} = -10\lg(U_{\text{вых}}^2 \cdot 10^{-6}) - 60$.

Результаты расчетов приведены в табл. 1

Табл.1

$U_{\text{вых}}[\text{В}]$	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1	0,05	0,02
$L_{\text{дон}}[\text{дБ}]$	0	1,94	4,44	7,9588	13,98	20	26,02	33,98

Полученная формула (5) для определения величины замирания в канале радиосвязи не только позволяет определять замирания в среде распространения радиоволн канала радиосвязи, но и по измерениям напряжения на выходе радиоприемника осуществлять постоянный контроль помеховой обстановки в среде распространения радиоволн.

Для рассматриваемого примера $K_{\text{прм}}^2 R_{[\text{Ом}]} = 10^6$ поэтому, если напряжение на выходе радиоприемника уменьшается, например, до 0,4 В (при замираниях сигнала 7,9588 дБ), значит мощность сигнала на входе приемника от значения $P_{0[\text{Вт}]} = 10^{-6} \text{ Вт}$ уменьшилась до значения $P_{\text{прм}[\text{Вт}]} = 0,16 \cdot 10^{-6} \text{ Вт}$.

Рассмотрим общую энергетическую модель радиоканала с замираниями в интерактивной системе MATLAB, используя конкретные данные из приведенного примера. Эта модель приведена на рис.1.

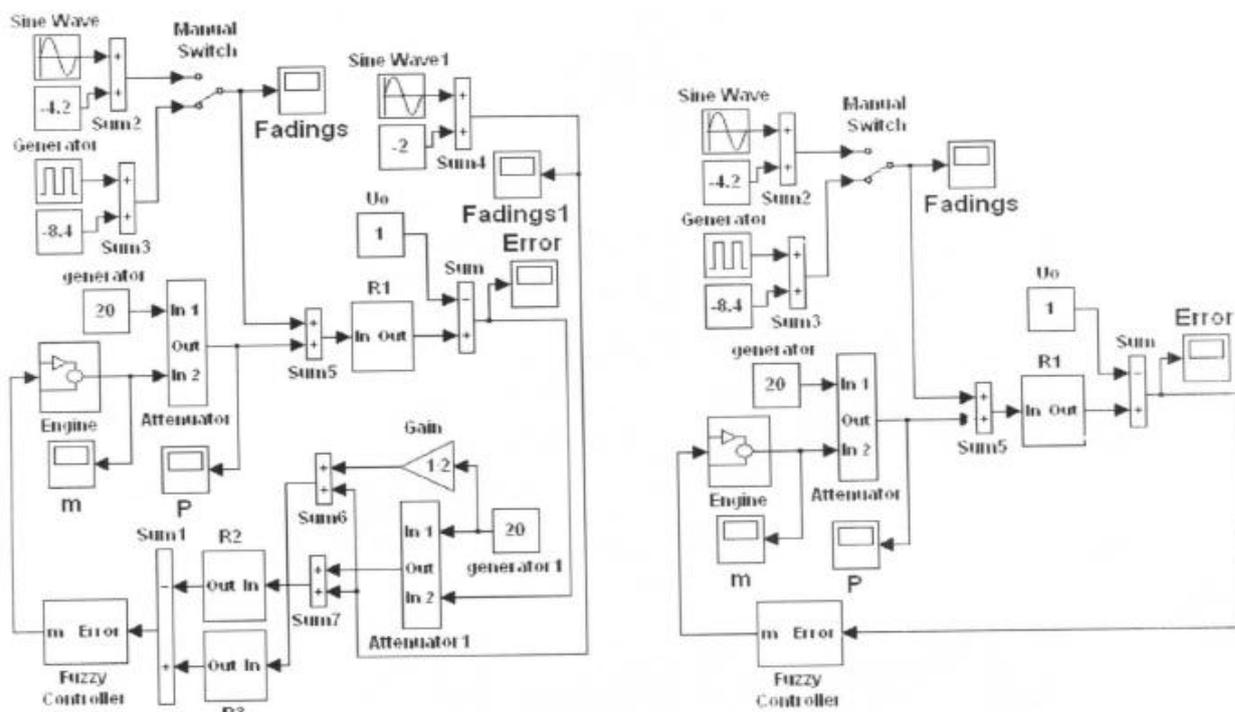


Рис.1. Энергетическая модель радиоканала

Радиопередатчик (**Trnsmitter**) имеет мощность $P_{\text{прд}[Bm]} = 10Bm$. С учетом коэффициентов усиления передающей $G_{A_{\text{прд}[dB]}}$ и приемной $G_{A_{\text{прм}[dB]}}$ антенн и затухания сигнала на радиолинии $L_{0[дБ]}$, мощность на выходе приемника, без учета замираний, уменьшается на 70 дБ или в 10^7 раз и равна $P_{0[Bm]} = 10^{-6} Bm$. Это учитывается блоком **Radiation damping**. Кроме того, сигнал на входе приемника запаздывает во времени относительно излученного передатчиком сигнала, что учитывается блоком **Transport Delay**.

Допустим, что замирания периодически и скачкообразно уменьшают мощность сигнала на входе приемника на $-10\lg(0,16) = 7,9588\text{дБ}$, т.е. мощность за счет замираний уменьшается от $P_{0[Bm]} = 10^{-6} Bm$ до $P_{\text{прм}[Bm]} = 0,16 \cdot 10^{-6} Bm$. Это эквивалентно тому, что мощность передатчика (без замираний) уменьшается до $P_{\text{прм}[Bm]} = 10Bm$. Другими словами, замирания эквивалентно уменьшают мощность передатчика на 8,4Вт.

Имитация замираний (**Fadings**) может быть выполнена при помощи генератора прямоугольных импульсов (**generator**) с амплитудой 8,4, блока с постоянным сигналом -8,4, сумматора (**Sum1**) и сумматора (**Sum**). При синусоидальных замираниях (**Fadings**) их имитация может быть выполнена при помощи генератора синусоидальных колебаний (**Sine Wave**), блока с постоянным сигналом -4,2 и сумматора (**Sum2**).

При моделировании частота колебаний выбрана равной $\pi/10$ рад/с (период 20 с)
Для нашего примера:

$$U_{\text{вых}[B]} = K_{\text{прм}} \sqrt{P_{\text{прм}[Bm]} \cdot R_{Om}} = 1000 \sqrt{P_{\text{прм}[Bm]}}$$

Эта формула моделируется блоком **Fcn**. Последний блок **Transfer Fen** моделирует инерционные свойства приемника, выраженные здесь аperiodическим звеном с передаточной функцией $G(s) = 1/(Ts + 1)$, $b = 1/T$. T - постоянная времени. При моделировании постоянные времени приемника и запаздывания сигнала в среде распространения радиоволн приняты равными 0,01 с.

Замирания, как возбуждающие воздействия на радиоканал, являются, в общем случае случайными процессами, но для исследования радиоканала, особенно в системах автоматического регулирования мощности с адаптивными радиоканалами связи, замирания целесообразно представить типовыми возбуждающими воздействиями, например, синусоидальными (при исследовании точности работы систем по величине динамической ошибки) или периодическими ступенчатыми функциями (при исследовании быстродействия систем по реакции на ступенчатые воздействия).

При различных параметрах различных радиоканалов энергетическая модель любого радиоканала будет такой же, как представлена на рис 1, состоящей из блоков **Transmitter** (радиопередатчик), **Radiation damping** (затухание сигнала в среде распространения радиоволн), **Transport Delay** (запаздывание сигнала в среде распространения радиоволн), **Fen** (пересчет мощности на входе приемника в **Bammax** в напряжение на выходе приемника в **Вольтмах Transfer Fen** (учет инерционности приемника), с учетом параметров конкретного радиоканала.

На рис 2,а представлена полная математическая модель системы автоматической регулировки мощности передатчика (системы АРМП), которая состоит из двух основных каналов - прямого канала радиосвязи и обратного канала

радиопередачи. В этой модели блок R1 включает блоки **Radiation damping** (затухание сигнала в среде распространения радиоволн), **Transport Delay** (запаздывание сигнала в среде распространения радиоволн), **Fen** (пересчет мощности на входе приемника в **Vammax** в напряжение на выходе приемника в **Вольтmax Transfer Fen** (учет инерционности приемника, которые представлены на рис.1 Математическая модель (см рис. 2.а) подробно описана в работе (1).

В [1-3] предложен эффективный метод, который позволяет практически полностью исключить влияние аддитивных помех в канале радиопередачи. Этот метод для аддитивных замираний использует блок компенсации R3 с передаточной функцией идентичной передаточной функции блока R2. Практически блок компенсации R3 представляет собой измерительный радиоприемник, идентифицирующий (измеряющий) аддитивные влияния (замирания) в среде распространения радиоволн канала радиопередачи. При условии противоположности значений сигналов с выходов блоков R2 и R3 выполняется условие инвариантности динамики системы к аддитивным замираниям в канале радиопередачи. Действительно, при подключении блока компенсации R3 процессы в системе АРМП становятся идентичными процессам которые исследовались при условии идеального канала радиопередачи.

В системе АРМП, которая представлена на рис. 2.а, канал радиопередачи представленный двумя каналами обратной связи, которые работают на одной и той же несущей частоте и имеют одну среду распространения радиоволн.

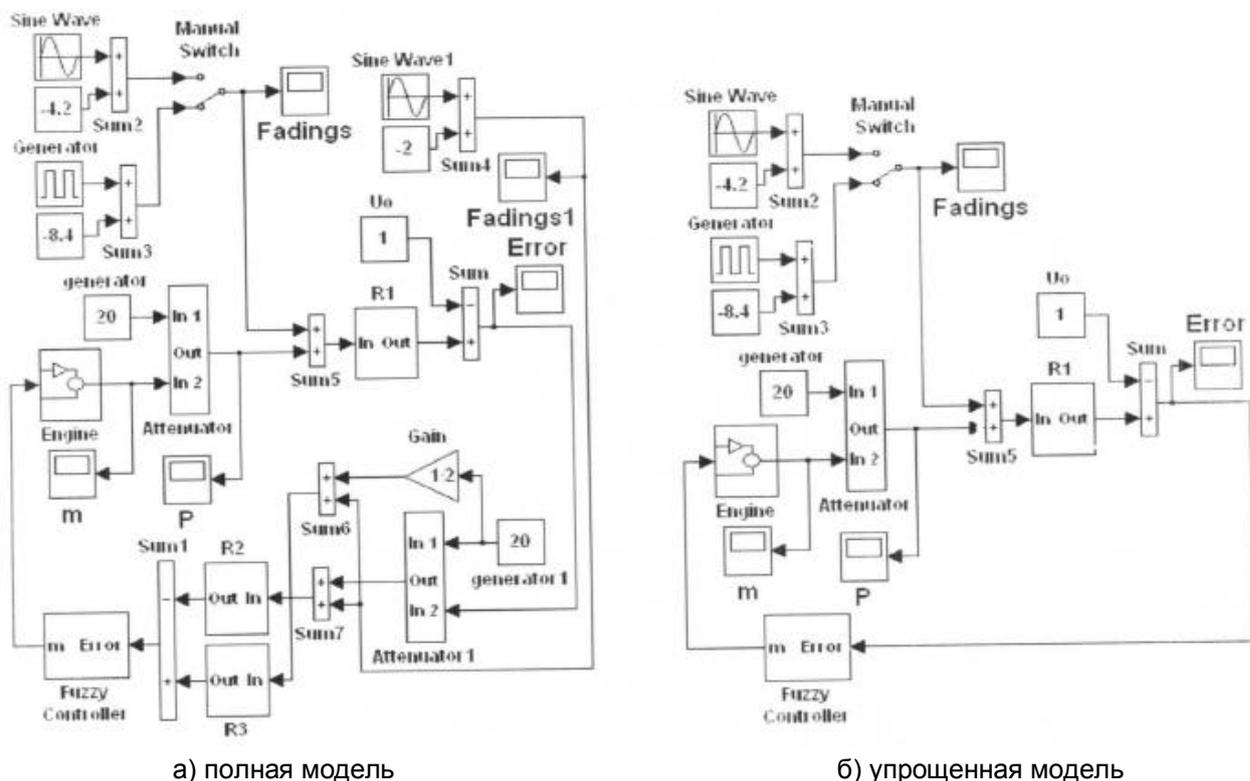


Рис. 2. Математическая модель канала радиосвязи с системой АРМП

Первый обратный канал включает следующие элементы: генератор Generator1, аттенюатор Attenuator1, сумматор Sum7, звено R2. Второй обратный канал включает следующие элементы: генератор Generator1, разделитель мощности Gain, сумматор Sum6, звено R3, идентичное звену R2. Используется временное разделение каналов путем их стробирования. Замирания сигналов (Radiation

damping 1 і 2) и замирания (Fadings1) в первом и втором обратных каналах одинаковые.

В первом обратном канале сигнал на выходе сумматора Sum7 (на входе звена R2): $u_{\Sigma_1}(t) = \theta(t) + u_c^* + u_1(t)$, где $\theta(t)$ – принятый сигнал ошибки рассогласования, u_c^* – постоянный сигнал, который может быть определен расчетным или экспериментальным путем, $u_1(t)$ – замирания в среде распространения радиоволн канала радиуправления.

Во втором обратном канале сигнал на выходе сумматора Sum6 (на входе звена R3): $u_{\Sigma_2}(t) = +u_c^* + u_1(t)$. Нужно отметить, что $u_{\Sigma_1}(t) - u_{\Sigma_2}(t) = \theta(t)$.

Таким образом, вычитая с исходного сигнала звена R2 исходный сигнал звена R3 при идентичности звеньев R2 и R3 получаем на выходе сумматора Sum1 преобразованный сигнал ошибки рассогласования системы. То-есть, имеем канал радиуправления с полной компенсацией (устранением) аддитивных замираний в этом канале. Так как возможна полная компенсация замираний в канале радиуправления, то в математических моделях систем АРМП этот канал (при условии компенсации замираний) можна представить в упрощенном виде (рис.2,б) и исследовать процессы на более простых моделях.

Если основная модель в целом нестационарная, то условие компенсации замираний в канале радиуправления позволяет упростить схему, получив уже стационарную систему. Процессы в полной модели (при синусоидальном и ступенчатом воздействии) приведены на рис. 3, и в упрощенной модели – на рис. 4.

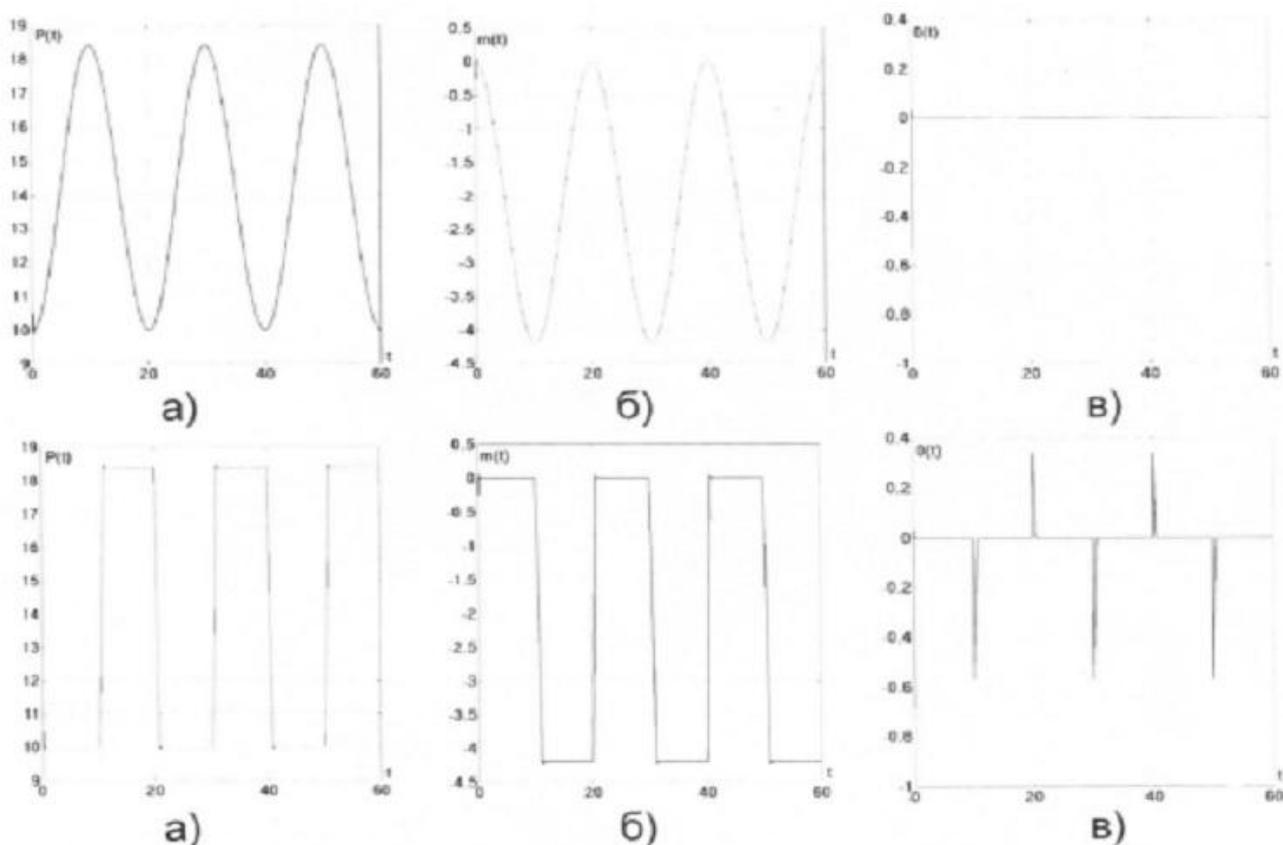


Рис. 3. Процессы в математической модели системы

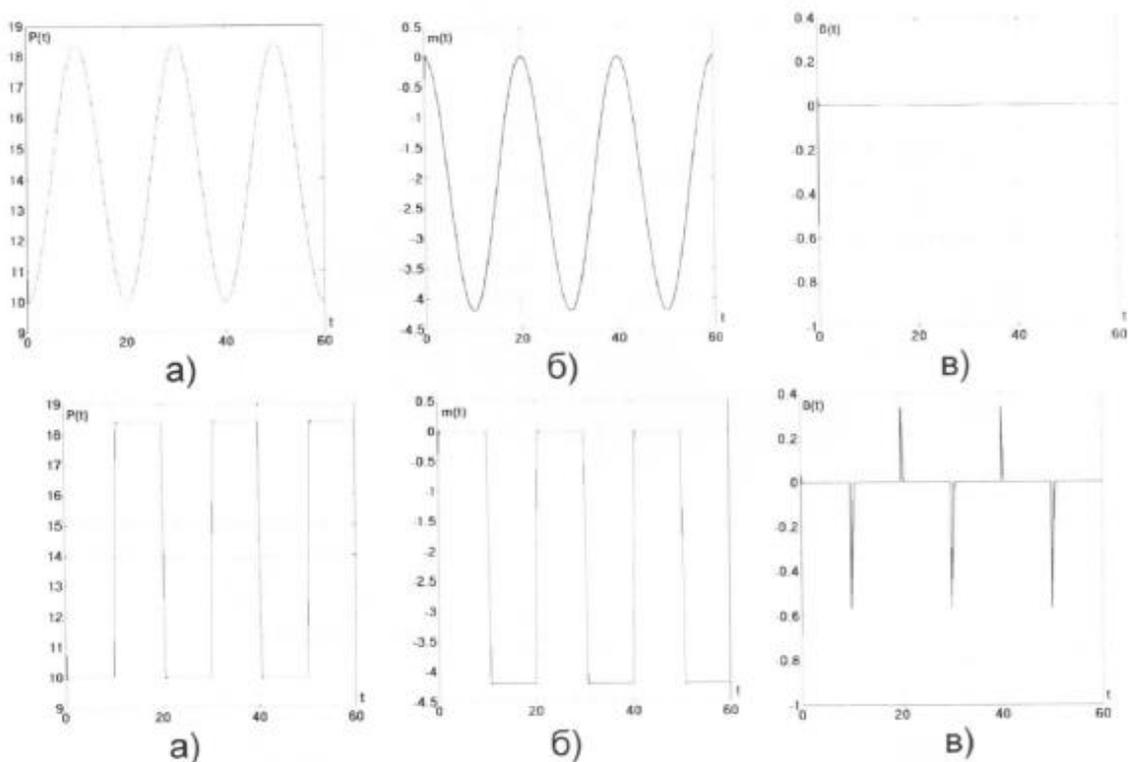


Рис. 4. Процессы в упрощенной математической модели системы

Как видно из рисунков, процессы в полной и упрощенной математических моделях практически совпадают с высокой точностью. Это позволяет при условии компенсации замираний проводить исследование процессов только для упрощенных математических моделях, что значительно упрощает исследование реальных систем.

Поэтому можно использовать упрощенную математическую модель системы для анализа и синтеза систем автоматической регулировки мощности передатчика.

Литература

1. Гостев В. И. Фаззи-система автоматического управления мощностью передатчика в адаптивном канале радиосвязи // Проблемы управления информатики. – 2010. – №4. – С. 90-101.
2. Гостев В. И., Кунах Н.И. Проектирование канала радиоуправления систем автоматического регулирования мощности передатчика в радиоканале связи при аддитивных замираниях сигнала // Зв'язок. – 2006. – №4(64). – С. 36-38.
3. Кунах Н. І. Редукція математичних моделей систем автоматичного регулювання потужності передавача в адаптивних каналах радіозв'язку // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – 2007. – Т.5, №1. – С. 63-67.