

## ПОЛУМАРКОВСКАЯ МОДЕЛЬ СЛОЖНОГО КОНФЛИКТА РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Будников С.А.

Военный авиационный инженерный университет, г. Воронеж

Тел. (8-4732) 422-389. E-mail: [buser@bk.ru](mailto:buser@bk.ru)

**Аннотация.** В статье рассматриваются полумарковская модель двухуровневого конфликта радиоэлектронных средств и систем, входящих в состав систем управления сложными объектами, с внешней средой с односторонним формированием условий. Показана зависимость эффективности функционирования радиоэлектронных средств и систем от эффективности функционирования защитной подсистемы.

**Ключевые слова:** полумарковский процесс, конфликтное взаимодействие, одностороннее формирование условий, экспоненциальное распределение.

Все современные системы управления объектами электроэнергетики, связи и телекоммуникаций, транспортными средствами и средствами жизнеобеспечения представляют собой функционально законченную совокупность территориально распределенных радиоэлектронных средств и систем (РЭСиС). Эти РЭСиС функционируют в достаточно сложных конфликтных условиях воздействий различных дестабилизирующих и деструктивных факторов со стороны окружающей среды, как непреднамеренного, так и преднамеренного характера.

Поэтому в состав РЭСиС включают различные защитные подсистемы (компоненты), предназначенные для нейтрализации воздействий факторов враждебной среды. Это обусловлено важностью информации при решении практически всего комплекса задач управления, а также острой необходимостью обеспечения устойчивости функционирования РЭСиС по отношению к возникающим угрозам реализации различных дестабилизирующих и деструктивных факторов.

Вопросам обеспечения бесперебойного и устойчивого функционирования этих РЭСиС, а также вопросам надежности и раньше уделялось большое внимание, однако такое функционирование РЭСиС необходимо рассматривать как конфликтное взаимодействие абстрактных сложных систем<sup>4,7</sup>. Исходя из этого, в настоящее время, особенно активно, проводятся исследования по совершенствованию методического аппарата связанного с построением различных классов конфликтных моделей<sup>2,8</sup>. В издании<sup>2</sup> подобный конфликт описывается в виде изменений состояний единой конфликтной системы с использованием аппарата марковских и полумарковских случайных процессов.

Целью работы является разработка полумарковской модели конфликта РЭСиС с внешней средой и анализ влияния защитной подсистемы РЭСиС на возможность выполнения основных задач РЭСиС систем управления сложными объектами.

Как и в ряде работ<sup>2,9</sup>, функционирование защитной подсистемы может быть представлено совокупностью непрерывных двух и более сторонних физических и информационных конфликтных процессов многоуровневых иерархических систем. Иерархичность системы информационных и физических конфликтов предполагает, что конфликты нижнего уровня подготавливают условия для информационных и физических компонент конфликта на верхнем уровне<sup>4</sup>. Структура подобного конфликтного взаимодействия применительно к динамической системе конфликтов РЭСиС систем управления с внешней средой представлена на рис. 1.

## Конфликтующие стороны

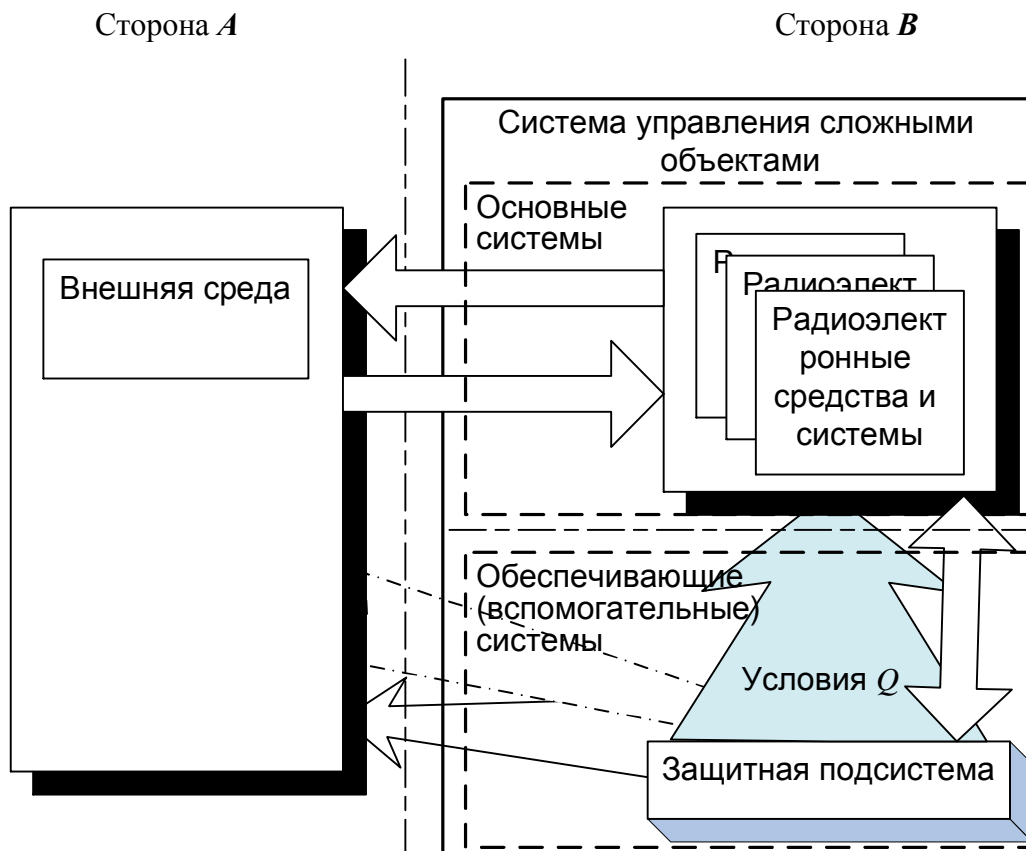


Рис. 1. Структура конфликтного взаимодействия

Основные идеи такого представления конфликта основаны на принципах теории многоуровневых иерархических систем и теории живучести<sup>6</sup>. Они состоят в построении стратифицированной системной модели, связывающей основные и обеспечивающие элементы сложных систем, участвующие в конфликтах разных уровней. В интересах исследования зависимости влияния защитной подсистемы на возможность выполнения задач РЭСиС управления сложными объектами рассмотрим следующие уровни стратифицированного описания: - уровень РЭСиС, входящих в состав систем управления сложными объектами и уровень, входящей в состав РЭСиС, защитной подсистемы, решающей задачи как по предотвращению воздействия дестабилизирующих (деструктивных) факторов внешней среды, так и реализации защитных функции РЭСиС и средств.

Формальный аппарат описания динамики развития конфликтного взаимодействия защитной подсистемы позволяет системную модель развития конфликта во времени ограничить информационной компонентой и использовать логико-вероятностные модели, описывающие эту динамику. Так как, каждое из состояний, достигнутое в результате элементарного шага конфликта, определяет начальные условия для следующего элементарного шага, то для описания конфликта воспользуемся математическим аппаратом полумарковских процессов, как это реализовано в статье<sup>5</sup>.

В рассматриваемом конфликтном взаимодействии РЭСиС с враждебной средой обозначим РЭСиС и входящую в ее состав защитную подсистему, как сторону **В** конфликта, а враждебную окружающую среду – стороной **А**, соответственно (см. рис. 1). Представим совокупность участвующих в информационном конфликте сторон с их внутри- и внешнесистемными связями в виде единой конфликтующей системы, изменяющей свои состояния с изменением информационных состояний каждой стороны. Таким образом, с учетом одно-стороннего формирования условий конфликт сторон **А** и **В** и его динамика может быть представлен в виде графа, приведенного на рис. 2.

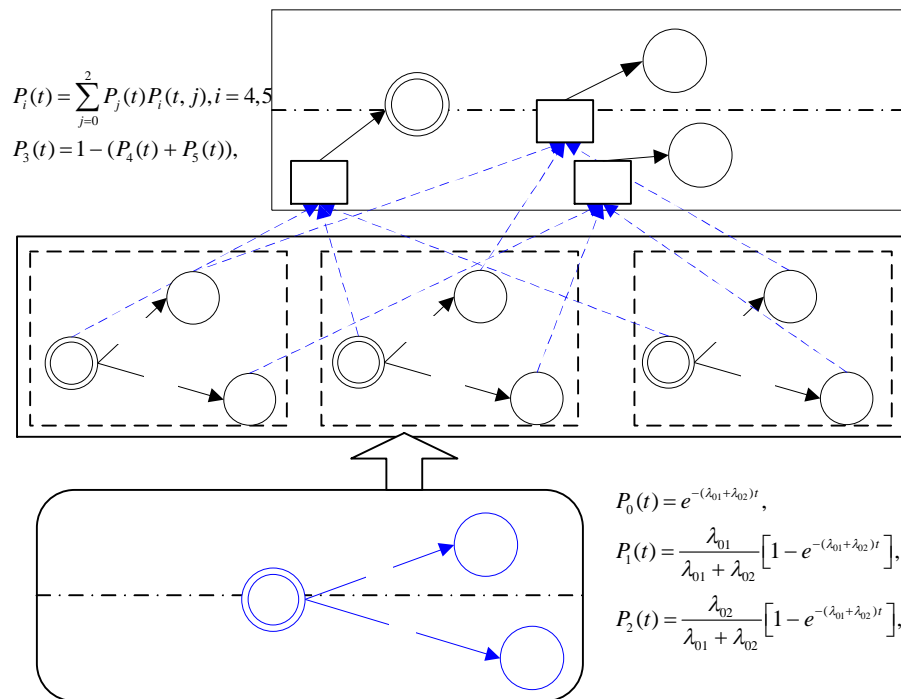


Рис. 2. Динамическая модель двух уровенного конфликта при одностороннем формировании условий.

В соответствии со стоящими перед участниками конфликтов целями такая система может находиться в одном из следующих конечных состояний. Вершины графа  $S_0$  и  $S_3$  определяют начальные состояния конфликтов защитной подсистемы и РЭСиС соответственно (каждая из сторон находится в стационарном состоянии и преимуществ еще не получила). Вершины графа  $S_1$  и  $S_4$  определяют состояния выигрыша стороны  $A$  (внешней среды) соответственно для защитной подсистемы и РЭСиС (защитная подсистема РЭСиС не обнаружила воздействия факторов враждебной среды или не смогла успешно их нейтрализовать), и вершины  $S_2$  и  $S_5$  определяют состояние выигрыша защитной подсистемы и РЭСиС (защитная подсистема РЭСиС обнаружила воздействия факторов враждебной среды и успешно их нейтрализовала при этом РЭСиС продолжают функционировать без снижения эффективности).

В такой постановке задач, очевидно, что одностороннее формирование условий конфликта может быть представлено как совмещение вероятностей событий, происходящих с РЭСиС и защитной подсистемой<sup>1</sup>. Тогда с учетом этого и теоремы умножения вероятностей можно записать

$$P_i(t) = \sum_{j=0}^2 P_j(t) P_i(t, j), i = 4, 5 \quad (1)$$

$$P_3(t) = 1 - (P_4(t) + P_5(t)),$$

где  $P_i(t)$  – вероятность нахождения конфликта РЭСиС в  $i$ -м состоянии,  $i = \overline{4, 5}$ ;

$P_i(t, j)$  – условная вероятность нахождения конфликтной системы РЭСиС в  $i$ -м состоянии, при условии пребывания защитной подсистемы в состоянии  $j = \overline{0, 2}$ .

Применительно к графу, представленному на рис. 2 и выражениям (1) можно записать полумарковскую систему уравнений динамики конфликта в предположении экспоненциальной аппроксимации распределения вероятности времени получения преимущества. Руководствуясь основными положениями<sup>3</sup> применительно к состояниям  $S_0$ - $S_2$ , представленных на рис. 2, можно записать вероятности пребывания в этих состояниях

$$\begin{aligned}
P_0(t) &= e^{-(\lambda_{01} + \lambda_{02})t}, \\
P_1(t) &= \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{01} + \lambda_{02}} \left[ 1 - e^{-(\lambda_{01} + \lambda_{02})t} \right], \\
P_2(t) &= \frac{\lambda_{02}}{\lambda_{01} + \lambda_{02}} \left[ 1 - e^{-(\lambda_{01} + \lambda_{02})t} \right],
\end{aligned} \tag{2}$$

где  $\lambda_{ij}$  – интенсивность перехода из состояния  $i$  в состояние  $j$ .

Рассуждая аналогично для состояний  $S_4$  и  $S_5$  с учетом условности процессов на уровне РЭСиС от исходов конфликтов защитной подсистемы можно записать подобные уравнения.

Для этого введем в рассмотрение величину  $k = \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{02}}$ , характеризующую отношения

интенсивностей переходов из состояния в состояние защитной подсистемы, тогда значения интенсивностей переходов  $S_0 \rightarrow S_1$  и  $S_0 \rightarrow S_2$  можно задать, как  $k\lambda_{02}$  и  $\lambda_{02}$  или без индексов как  $k\lambda$  и  $\lambda$  соответственно. Рассуждая аналогично, применительно к средней части рис. 2,

формализующей формирование условий, введем значения  $K_j = \frac{\lambda_j}{\lambda_j}$ ,  $j = \overline{0, 2}$ , где  $\lambda_j$  –

интенсивность перехода из состояния  $S_3$  РЭСиС в состояния  $i=4, 5$  при условии нахождения состояния конфликта защитной подсистемы в одном из состояний  $j$  соответственно. Таким образом, формирование условных вероятностей  $P_i(t, j)$  будет связано с применением соответствующего коэффициента  $K_j$ , и значения интенсивности  $\lambda_j$ ,  $j = \overline{0, 2}$ . Тогда выражения (1) с учетом (2) и введенных обозначений можно записать как

$$\begin{aligned}
P_4(t) &= e^{-(1+k)\lambda t} \frac{1}{1 + K_0} \left[ 1 - e^{-(1+k)\lambda_0 t} \right] + \frac{1}{1 + k} \left[ 1 - e^{-(1+k)\lambda t} \right] \cdot \frac{1}{1 + K_1} \left[ 1 - e^{-(1+K_1)\lambda_1 t} \right] + \\
&\quad + \frac{k}{1 + k} \left[ 1 - e^{-(1+k)\lambda t} \right] \cdot \frac{1}{1 + K_2} \left[ 1 - e^{-(1+K_2)\lambda_2 t} \right], \\
P_5(t) &= e^{-(1+k)\lambda t} \frac{K_0}{1 + K_0} \left[ 1 - e^{-(1+k)\lambda_0 t} \right] + \frac{1}{1 + k} \left[ 1 - e^{-(1+k)\lambda t} \right] \cdot \frac{K_1}{1 + K_1} \left[ 1 - e^{-(1+K_1)\lambda_1 t} \right] + \\
&\quad + \frac{k}{1 + k} \left[ 1 - e^{-(1+k)\lambda t} \right] \cdot \frac{K_2}{1 + K_2} \left[ 1 - e^{-(1+K_2)\lambda_2 t} \right],
\end{aligned} \tag{3}$$

$$P_3(t) = 1 - P_4(t) - P_5(t).$$

Очевидно, что максимальное значение вероятности воздействия различных факторов внешней среды на РЭСиС системы управления сложными объектами (переход в состояние  $S_4$ ) может быть получено при условии неуспешного выполнения задач защитной подсистемой (состояние  $S_1$ ) и эффективном со стороны внешней среды воздействии на РЭСиС, т.е. переход в состояние  $S_4$  осуществляется при условии нахождения защитной подсистемы в состоянии  $S_1$ . И наоборот, можно сказать, что максимальное значение вероятности устойчивого функционирования РЭСиС системы управления сложным объектом (переход в состояние  $S_5$ ) может быть получено при условии успешного выполнения своих задач по целевому предназначению защитной подсистемой РЭСиС (переход в состояние  $S_2$ ).

Анализ основных статистических и временных характеристик воздействий дестабилизирующих и деструктивных факторов внешней среды в ряде типовых эпизодов функциони-

рования РЭСиС позволил обосновать значения интенсивностей переходов графа состояний, представленного на рис. 2.

Результаты моделирования конфликта при  $\lambda = 10, k = 1.2, \lambda_0 = 0.03, K_0 = 1.2, \lambda_1 = 0.05, K_1 = 1.2, \lambda_2 = 0.018, K_2 = 1.2$  представлены на рис. 3

Анализ данных зависимостей подтверждает выводы о важности начального этапа конфликта. Основной рост значений вероятностей  $P_4(t)$  и  $P_5(t)$  до (90%) происходит в первые 50 минут конфликта.

В интересах оценки зависимости пребывания в выигрышном состоянии стороны **B** от значений отношения интенсивностей переходов  $S_0 — S_1$  и  $S_0 — S_2$  защитной подсистемы  $k$  рассмотрим зависимости  $P_4(k)$  и  $P_5(k)$ . Не монотонный характер полученных зависимостей позволяет сделать вывод о зависимости

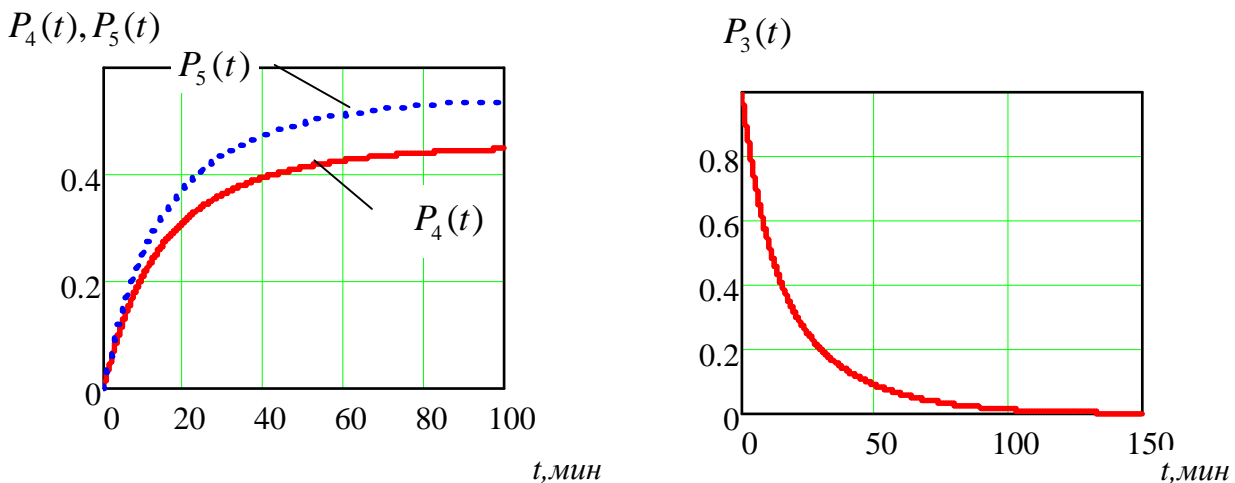


Рис. 3. Зависимость вероятности пребывания в состоянии  $S_4, S_5$  и  $S_3$

скорости убывания значений вероятности от отношения  $k$ , т.е. производной  $f(k) = \frac{dP_5(k)}{dk}$ .

Полученные графические зависимости представлены на рис. 4.

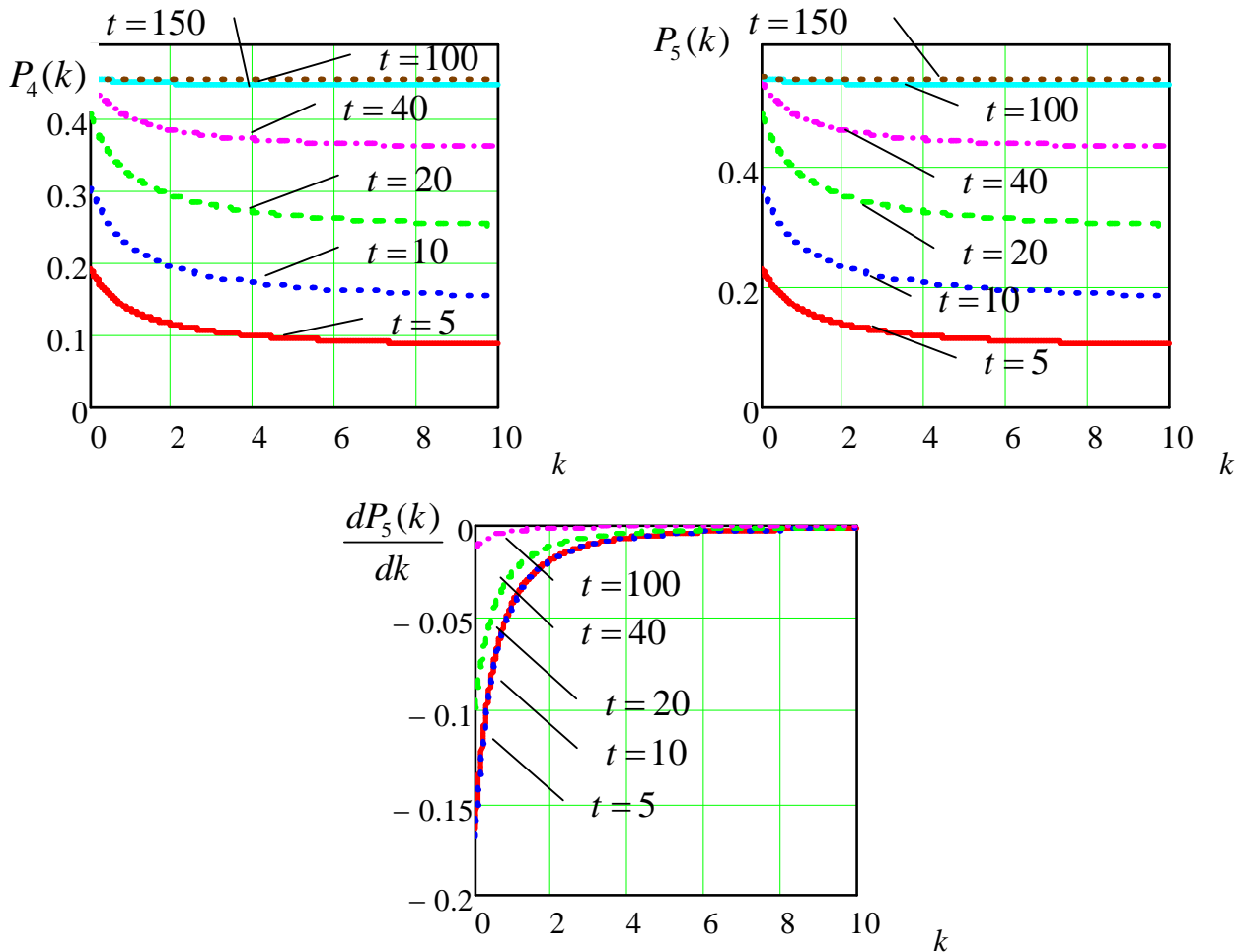


Рис. 4. Зависимости вероятности пребывания в выигрышном (проигрышном) состоянии систем управления сложными объектами и значения производной от отношения интенсивностей переходов защитной подсистемы

Анализ характера поведения производной позволяет сделать вывод о том, что при  $k > 2$  скорость убывания значений вероятности пребывания в состоянии  $S_{4(5)}$  резко снижается. Это говорит о достаточности двукратного превосходства защитной подсистемы в конфликте с различной интенсивностью.

Не менее интересен анализ поведения частных производных вероятности пребывания в состоянии выигрыша стороны  $\mathbf{B}$  (состояние  $S_5$ ) по  $K_j, j = \overline{0,2}$ . Полученные графические зависимости представлены на рис. 5. Анализ полученных зависимостей позволяет сделать следующие выводы. Динамику конфликта систем управления сложными объектами помимо самих средств вооружения так же формируют отношения интенсивностей переходов в выигрышное (проигрышное) состояние защитной подсистемы. Паритетное состояние защитной подсистемы (состояние  $S_0$ ) не формирует условий для выигрыша или проигрыша систем управления сложными объектами. Кроме того, резкий спад значений частных производных  $\frac{dP_5(K_1)}{dK_1}$  и  $\frac{dP_5(K_2)}{dK_2}$  для различного значения текущего времени конфликта говорит о существенном влиянии отношений  $K_1$  и  $K_2$  на интервале  $[0,4]$ .

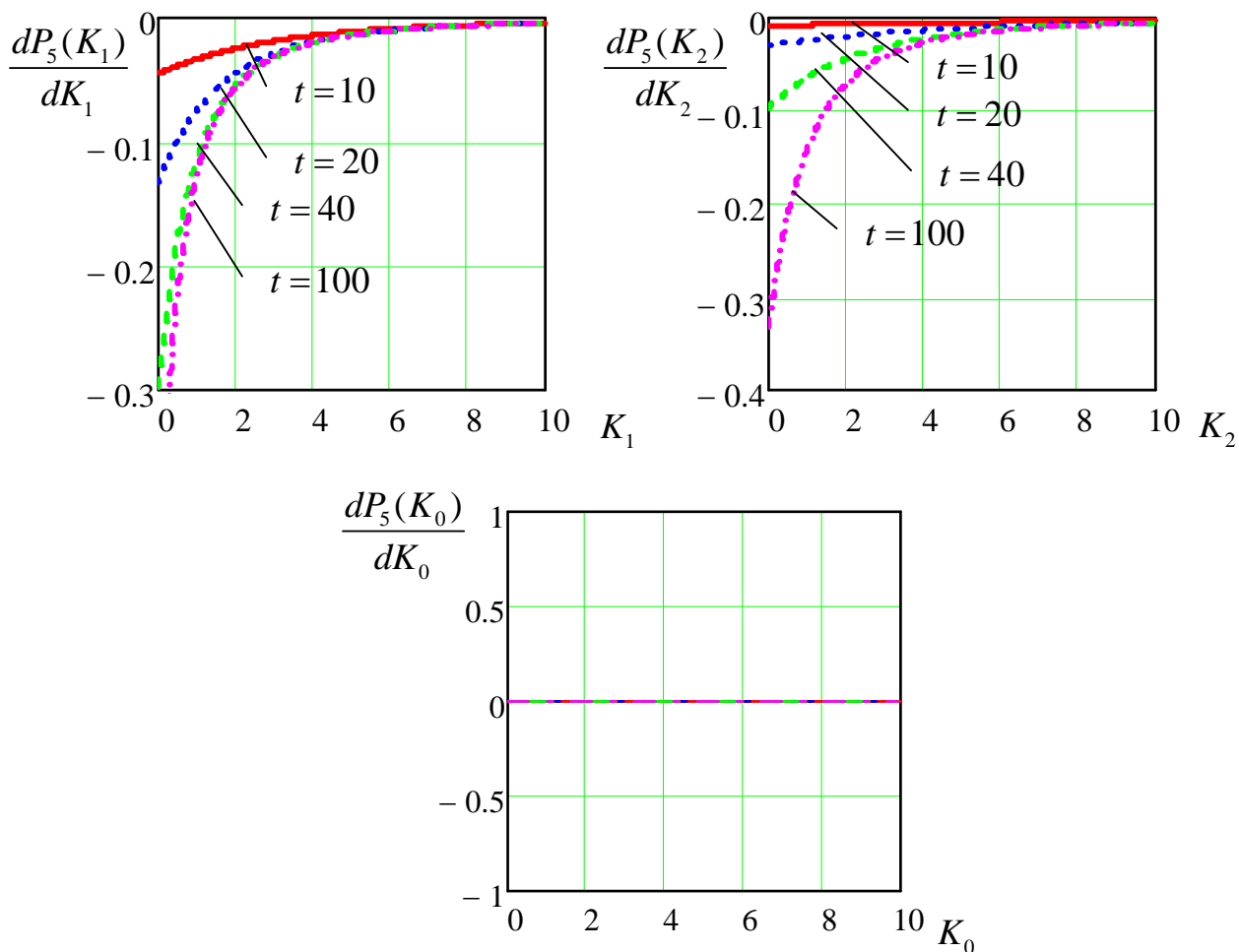


Рис. 5. Значения частных производных вероятности пребывания в состоянии  $S_5$

Сравнивая полученные значения с выводом, сделанным ранее относительно  $k$  можно предполагать об удвоении диапазона влияния изменений условных вероятностей переходов в состояние выигрыша систем управления сложными объектами в зависимости от успеха защитной подсистемы РЭСиС.

Такой характер поведения степени и скорости влияния на значение вероятности выигрышного (проигрышного) состояния основной системы вооружений определяет необходимость проведения анализа вероятности  $P_5(K_1, k)$  от значений  $K_1$  и  $k$ . Полученные закономерности в виде контурного графика значений вероятности для  $t=50$  мин. приведены на рис. 6. Из анализа данных зависимостей следует, что для нахождения в состоянии выигрыша основной системы вооружения стороны  $A$  с вероятностью  $P_5 > 0.5$  необходимо и достаточно иметь преимущество в 20% для систем управления сложными объектами и не более 80% проигрыша в информационном обеспечении и эффективности защитной подсистемы РЭСиС.

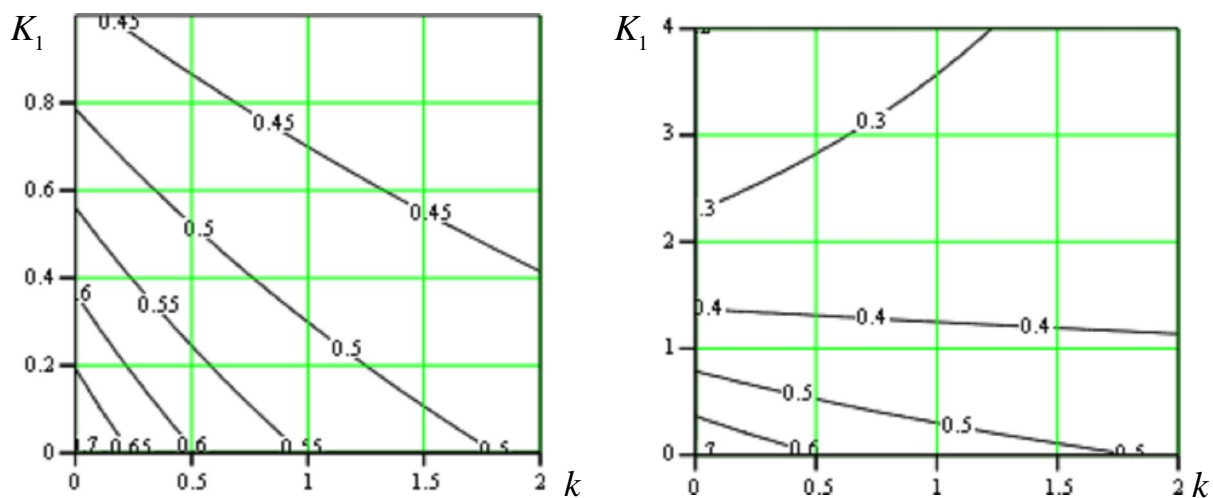


Рис. 6. Контурный график значений вероятности  $P_4(K_1, k)$

Таким образом, можно сделать следующие выводы. Для систем управления сложными объектами существенным фактором влияющим на эффективность их функционирования является система защитная подсистема, позволяющая за счет своих действий в четыре раза снизить возможный ущерб со стороны внешней среды. Существенное влияние на исход конфликта систем управления сложными объектами оказывает защитная подсистема, позволяющая значительно повысить эффективность РЭСиС систем управления сложными объектами.

В таких условиях особая роль отводится защитной подсистемой РЭСиС в интересах решения задач управления сложными объектами. И как следствие этого, в дальнейшем необходима разработка новых специальных методов и средств защиты, форм и способов упреждающего противодействия воздействиям различных дестабилизирующих и деструктивных факторов со стороны окружающей среды, как непреднамеренного, так и преднамеренного характера.

#### ПРИМЕЧАНИЯ

<sup>1</sup> Венцель Е.С. Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории вероятностей. – М.: Радио и связь, 1983.

<sup>2</sup> Владимиров В.И., Лихачев В.П., Шляхин В.М. Антагонистический конфликт радиоэлектронных систем. Методы и математические модели — М.: Радиотехника, 2004.

<sup>3</sup> Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания. Изд. 3-е, испр. и доп. – М.: Комкнига. – 2005. – 400с.

<sup>4</sup> Дружинин В.В., Конторов Д.С., Конторов М.Д. Введение в теорию конфликта. – М.: Радио и связь, 1989.

<sup>5</sup> Козирацкий А. Ю. др. Методический подход к построению моделей информационного конфликта, обеспечивающих детальный анализ выигрышных состояний. - «Информационный конфликт в спектре электромагнитных волн» 2004, №13 – приложение к журналу «Радиотехника».

<sup>6</sup> Крапивин В.Ф. О теории живучести сложных систем. М.: Наука, 1978, 247с.

<sup>7</sup> Новосельцев В.И. Системный анализ: современные концепции. – Воронеж: Издательство "Кварт", 2002 г. 320с.

<sup>8</sup> Радзиевский В.Г., Сирота А.А. Информационное обеспечение радиоэлектронных систем в условиях конфликта. – М.: ИПРЖР, 2001 г. 456с.