

В.Ф. Волков, А.П. Ковалев, С.А. Потрясаев, В.И. Салухов  
**АЛГОРИТМ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ  
ПРИ РАЗВЕРТЫВАНИИ СИСТЕМ ИНФОРМАЦИОННОГО  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

---

*Волков В.Ф., Ковалев А.П., Потрясаев С.А., Салухов В.И.* Алгоритм оперативного управления ресурсами при развертывании систем информационного обеспечения сложных технических комплексов.

**Аннотация.** Рассматривается задача управления расходом ресурсов в процессе развертывания систем информационного обеспечения сложных технических комплексов (СТК). Применение СТК по целевому назначению, как и процесс соответствующего информационного обеспечения, обычно ограничено жесткими директивными сроками, поэтому любая задержка недопустима. Ее устранение может быть реализовано часто только за счет привлечения дополнительных информационных ресурсов на последующих этапах. Разработанный алгоритм базируется на принципе оптимальности Р. Беллмана, позволяющем определять не окончательный план корректировки, а разрабатывать гибкую программу управляющих воздействий, зависящих от конкретного исхода каждого этапа, длительность которого превысила заданный норматив. Данная программа может быть реализована в соответствующих системах поддержки принятия решений, а также включена в имитационные модели процессов развертывания и применения СТК. В статье описывается детальный алгоритм оптимальной корректировки, соответствующий нормальному распределению продолжительности каждого из этапов.

**Ключевые слова:** адаптивная корректировка, информационное обеспечение, ретроспективная развертка, принцип оптимальности, условно - оптимальное управление, дополнительные ресурсы.

*Volkov V.F., Kovalev A.P., Potryasaev S.A., Salukhov V.I.* Algorithm of Sources Management in Deploying of Information Support Systems For Complicated Technical Complexes.

**Abstract.** The paper discusses a task of sources consumption management in the process of deploying information support systems for complicated technical complexes (CTC). Application of CTC as well as the process of appropriate information support are usually limited by the exact prescribed terms, so any delay is not allowable. The delay may be eliminated more often only by involving additional information sources at later stages. The developed algorithm is based on Bellman principle of optimality that allows one to define not the final correction schedule, but to operate a flexible program of control actions, depending on the concrete result at every stage, duration of which exceeds a defined norm. This program can be used in the appropriate decision support systems and can be included in the simulation models of CTC deploying and applying. The paper describes a detailed algorithm for optimal correction, corresponding to the normal distribution of stages durations.

**Keywords:** adaptive correction; information support; retrospective scan; the principle of optimality; suboptimal management; additional resources.

---

**1. Введение.** Рассмотрим процесс управления сложными техническими комплексами (СТК), функционирующими по жесткому временному регламенту. Оперативные характеристики системы информационного обеспечения СТК определяются требованиями

вышестоящих уровней управления, а специфика задач, решаемых потребителями, может ограничить функционирование СТК пределами одного технологического цикла. Примерами такого рода СТК являются комплексы доведения распорядительной информации в организационных структурах, системы блокирования потенциально опасных объектов, системы оповещения, производственные и транспортные управляющие комплексы и т.д. На практике вследствие влияния случайных или неучтенных факторов всегда существует риск не уложиться в заданный потребителями целевой информации срок доставки (получения) целевой информации. На стадиях развертывания систем информационного обеспечения (РСИО) возникают аналогичные ситуации [1, 2, 7, 9, 15]. Один из возможных подходов к расчету данных рисков заключается в последовательном уточнении значений вероятностей успешного выполнения задачи информационного обеспечения (либо задачи РСИО) с учетом фактического времени, затраченного на предыдущие этапы.

**2. Постановка задачи.** Обозначим  $z_{nl}$  — плановое (нормативное) значение продолжительности всего цикла развертывания системы информационного обеспечения (РСИО);  $\hat{t}_i$  — продолжительность  $i$ -го этапа,  $i = (1, N)$ , т.е.  $\sum_{i=1}^N \hat{t}_i^{nl} = z_{nl}$ .

Будем полагать, что параметры распределения величин  $\hat{t}_i$  и  $\hat{z} = \sum_{i=1}^N \hat{t}_i$  однозначно связаны с соответствующими директивными характеристиками.

Пусть первый этап процесса РСИО был реализован за время  $t_1^*$ , причем  $t_1^* > t_1^{nl}$ , т.е. величина  $t_1^* - t_1^{nl}$  - это величина задержки (опоздания) и продолжительность выполнения задачи РСИО подлежит уточнению:  $\hat{z}_1 = \hat{z} / t_1^* = t_1^* + \hat{t}_2 + \hat{t}_3 + \dots + \hat{t}_N$ , где  $\hat{z} / t_1^*$  — оценка ожидаемой продолжительности выполнения задачи, учитывающая факт опоздания после завершения первого этапа.

Обозначим  $R_{\eta}^*$  — риск невыполнения требований потребителя (заказчика) по сроку развертывания системы информационного обеспечения СТК. Очевидно,  $R_{\eta}^* = 1 - \gamma_{\eta}^*$ , где  $\gamma_{\eta}^*$  — вероятность выполнения задачи РСИО, вычисляемая с учетом

опоздания на первом этапе. Применив аппарат теории характеристических функций [4, 12], получим:

$$\gamma_{z_1} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-ju(\hat{t}-\hat{t}_1^*)} du \cdot \prod_{i=2}^N e^{jux} \varphi_{t_i}(x; A_{<K_i>}) dx, \text{ где:}$$

$$\varphi_{t_1}^* = \int_0^{z_{nl}} \varphi_{z_1}(t) dt, \quad j^2 = -1.$$

При невыполнении неравенства  $\gamma_{t_1}^* \geq \gamma_{dur}$ , где  $\gamma_{dur}$  — директивное значение, на оставшихся этапах необходимо проведение дополнительных оперативных мероприятий по обеспечению гарантированного выполнения задачи РСИО с требуемой вероятностью  $\gamma_{dur}$  в заданный срок  $z_{nl}$ . В результате этих мероприятий в конечном итоге произойдет корректировка параметров  $A_{<K_i>}$  оставшихся этапов. В данной статье ограничимся рассмотрением корректировки только одного последующего этапа.

Обозначим  $Y_{<K_2>}$  — дополнительно привлекаемые ресурсы, т.е.  $A'_{<K_2>} = A_{<K_2>} + Y_{<K_2>}$ ;  $f^{(2)}$  — функция зависимости стоимости  $\Delta S^{(2)}$  корректировки от значений дополнительных ресурсов, т.е.  $\Delta S^{(2)} = f^{(2)}(Y_{<K_2>})$ .

Тогда вектор корректировок должен обеспечивать выполнение равенства  $\gamma_{t_i} = \gamma_{dur}$ .

Пусть реализовано  $(\nu - 1)$  этапов, т.е.  $\hat{z} / T_{(\nu-1)}^* = \hat{z}_{\nu-1} = \sum_{i=1}^{\nu-1} \hat{t}_i^* + \hat{t}_\nu + \dots + \hat{t}_N$ , тогда риск невыполнения задачи информационного обеспечения в заданный срок с учетом исхода  $(\nu - 1)$ -го этапов определяется по формуле:

$$R_{<\nu-1>}^* = 1 - \int_0^{z_{nl}} \gamma_{\hat{z}/T_{<\nu-1>}^*}(t) dt, \text{ где}$$

$$\gamma_{\hat{z}/T_{<\nu-1>}^*} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-ju(t - \sum_{i=1}^{\nu-1} \hat{t}_i^*)} du \cdot \prod_{i=\nu}^N e^{jux} \varphi_{t_i}^*(x; A_{<K_i>}) dx.$$

Задача оптимальной корректировки процесса РСИО формулируется следующим образом. Требуется определить такие

значения  $Y_{<K_V>}$  вектора корректировок на каждом этапе, для которых минимизируются дополнительно привлекаемые информационные ресурсы при ограничении на риск невыполнения задач РСИО в заданный срок:

$$\Delta S(Y_{<K_2>}, \dots, Y_{<K_N>}) = \sum \Delta S^{(v)}(Y_{<K_V>}) \longrightarrow \min \Delta S \quad (1)$$

при ограничениях:

$$\begin{aligned} \gamma_1^*(t_1^*, Y_{<K_1>}) &= \gamma_{\text{доп}}; \\ \gamma_2^*(t_1^*, t_2^*, Y_{<K_1>}) &= \gamma_{\text{доп}}; \varphi_{t_2}(t) = \varphi_{t_2}(t; (A_{<K_2>} + Y_{<K_N>})); \\ &\dots\dots\dots \\ \gamma_{N-1}^*(t_1^*, t_2^*, \dots, Y_{<K_{N-1}>}) &= \gamma_{\text{доп}}; \\ \varphi_{t_{N-1}}(t) &= \varphi_{t_{N-1}}(t; (A_{<K_{N-1}>} + Y_{<K_{N-2}>})). \end{aligned}$$

Специфика данной задачи оптимизации (многоэтапность процесса, случайный характер исхода каждого этапа, зависимость исхода этапа от корректировки параметров распределения его продолжительности, аддитивность выбранного показателя) делают естественным обращение к алгоритмам стохастического динамического программирования для получения решения задачи [1, 4, 12]. Для некоторых законов распределения величин  $t_i$  и небольшого числа этапов решение может быть получено аналитически. Покажем это на примере четырехэтапного процесса РСИО для варианта нормального закона распределения продолжительности величин  $\hat{t}_i$ . Такой вариант может иметь место не только для РСИО, но и для самого процесса ИО СТК: например, первый этап — предварительное получение информации от внешних источников; второй этап — априорное получение информации от собственных средств; третий этап — оперативное получение информации от собственных средств; четвертый этап — контроль факта исполнения запланированных действий.

**3. Параметр состояния.** Проведем следующие рассуждения.

Пусть реализован первый этап, он продолжался  $\hat{t}_i$  единиц времени и вероятность  $\gamma_1^*$  оказывается меньше заданной  $\gamma_{\text{доп}}$ .

Будем полагать, что стоимость дополнительных ресурсов, привлекаемых и используемых на 2-ом этапе, пропорциональна величине «опоздания»  $(t_1^* - m_1)$ .

Пусть после корректировки параметров  $M[\hat{t}_2], \sigma[\hat{t}_2]$  реализован 2-ой этап и  $\gamma_2^* < \gamma$ . Тогда стоимость дополнительно используемых на 3-ем этапе ресурсов будет пропорциональна суммарной величине «опоздания»:  $(\hat{t}_1^* - m_1 + \hat{t}_2^* - m_2)$ .

Аналогично,  $\Delta s^{(4)} \sim \hat{t}_1^* - m_1 + \hat{t}_2^* - m_2 + \hat{t}_3^* - m_3$ .

Выберем в качестве параметра состояния  $\hat{x}$  величину «опоздания». Это дискретная случайная величина, принимающая значения:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \hat{t}_1^* - m_1; \\ \hat{x}_2 &= \hat{t}_1^* - m_1 + \hat{t}_2^* - m_2; \\ \hat{x}_3 &= \hat{t}_1^* - m_1 + \hat{t}_2^* - m_2 + \hat{t}_3^* - m_3 \end{aligned} \right\}. \quad (2)$$

**4. Алгоритм динамической корректировки.** Вероятность своевременного информационного обеспечения с учетом исхода  $\hat{t}_1^*$  первого этапа равна:

$$\Delta s^{(2)} \sim \hat{t}_1^* - t_1^{nl} = \hat{t}_1^* - m_1$$

$$\gamma_1^* = \frac{1}{2} \left[ \Phi \left( \frac{z_1^{nl} - \hat{t}_1^* - m_2 - m_3 - m_4}{\sqrt{\sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2} \sqrt{2}} \right) + 1 \right], \quad (3)$$

где  $\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$ .

При  $\gamma_1^* < \gamma$ :

$$m_2' = m_2 + y_1, \quad \sigma_2' = \sigma_2 + y_1', \quad \text{т.е. } Y_{(K_2)} = \langle y_1 y_1' \rangle^T. \quad (4)$$

Затраты на корректировку равны:  $\Delta \hat{s}^{(2)} = \Delta s^{(2)}(\hat{x}_1, y_1, y_1')$ , а компоненты вектора корректировки должны удовлетворять равенству:

$$\frac{1}{2} \left[ \Phi \left( \frac{z_1^{nl} - \hat{t}_1^* - m_2 - y_1 - m_3 - m_4}{\sqrt{(\sigma_2 + y_1')^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2} \sqrt{2}} \right) + 1 \right] = \gamma \quad \text{или} \quad y_1' = \psi_1(y_1, \hat{t}_1^*). \quad (5)$$

Пусть  $t_2 = t_2^{**} = t_2^*(y_1, y_1')$ . Вероятность  $\gamma_2^{**}$  равна:

$$\gamma_2^{**} = \frac{1}{2} \left[ \Phi \left( \frac{z^{nl} - t_1^* - t_2^{**} - m_3 - m_4}{\sqrt{\sigma_3^2 + \sigma_4^2} \sqrt{2}} \right) + 1 \right]. \quad (6)$$

При  $\gamma_2^{**} < \gamma$ :

$$\left. \begin{aligned} m_3' &= m_3 + y_2, \sigma_3' = \sigma_3 + y_2'; \\ Y_{\langle K_3 \rangle} &= \langle y_2, y_2' \rangle^T; \\ \Delta \hat{s}^{(3)} &= \Delta s^{(3)}(\hat{x}_2, y_2, y_2'). \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Введем понятие «суммарного показателя затрат на корректировку», после реализации и корректировки третьего этапа он равен:

$$\hat{\eta}_{2,3}(\hat{x}_1, y_1, y_1', y_2, y_2') = \Delta s^{(2)}(\hat{x}_1, y_1, y_1') + \Delta s^{(3)}(\hat{x}_2, y_2, y_2'), \quad (8)$$

где компоненты  $y_2, y_2'$  вектора корректировки на третьем этапе удовлетворяют равенству:

$$\frac{1}{2} \left[ \Phi \left( \frac{z^{nl} - t_1^* - t_2^{**} - m_3 - y_2 - m_4}{\sqrt{(\sigma_3 + y_2')^2 + \sigma_4^2} \sqrt{2}} \right) + 1 \right] = \gamma \text{ или } y_2' = \psi_2(y_2, t_1^*, t_2^{**}). \quad (9)$$

Аналогично рассуждая, получим задачу определения оптимальных (в смысле выбранного критерия) значений вектора корректировки. Заметим, что обратить в минимум величину  $\hat{\eta}_{2,3,4}$  нельзя, т.к. при любой нашей корректировке суммарные затраты  $\hat{\eta}_{2,3,4}$  (а также и затраты  $\Delta \hat{s}^{(v)}$  на каждом шаге) остаются случайной величиной. Однако мы можем выбрать такую корректировку, при которой среднее значение  $M[\hat{\eta}_{2,3,4}]$  стоимости дополнительных используемых ресурсов будет минимально.

**5. Функция дополнительных затрат.** Пусть  $t_1 = t_1^*$ . Чтобы «уложиться» в заданное время  $z^{nl}$ , мы должны каким-то образом распределить «опоздание»  $x_1 = t_1^* - m_1$  по оставшимся этапам. Если мы хотим компенсировать это «опоздание»  $x_1$  на втором этапе, то,

очевидно, должны проводить такую корректировку параметров распределения его продолжительности, которая уменьшит и математическое ожидание  $\bar{t}_2$  и среднее квадратическое отклонение  $\sigma_{\hat{t}_2}$ , т.е. должно быть:

$$\begin{aligned}\Delta \bar{t}_2 &= \bar{t}_2' - \bar{t}_2 < 0, \\ \Delta \sigma_{\hat{t}_2} &= \sigma_{\hat{t}_2}' - \sigma_{\hat{t}_2} < 0.\end{aligned}$$

При этом очевидно, стоимость корректировки пропорциональна модулям величин  $\Delta \bar{t}_2, \Delta \sigma_{\hat{t}_2}$ , т.е.  $\Delta s^{(2)} \sim |\Delta \bar{t}_2|$ ;  $\Delta s^{(2)} \sim |\Delta \sigma_{\hat{t}_2}|$ , но  $\Delta \bar{t}_2 = y_1$ ,  $\Delta \sigma_{\hat{t}_2} = y_1'$ .

Можно доказать, что среднее значение суммарного показателя эффективности корректировки равно:

$$\eta_{2,3,4}(x_1, y_1, y_1', y_2, y_2', y_3, y_3') = \sum_{v=1}^3 c_v^x x_v + c_v^{\Delta m} y_v^2 + c_v^{\Delta \sigma} y_v',$$

где

$$\begin{aligned}x_1 &= t_1^* - m_1, y_1' = \psi_1(y_1, t_1^*), \\ x_2 &= x_1 + y_1, y_2' = \psi_2(y_2, t_1^*, t_2^{**}), \\ x_3 &= x_2 + y_2, y_3' = \psi_3(y_3, t_1^*, t_2^{**}, t_3^{**}).\end{aligned}\tag{10}$$

**6. Составление и решение рекуррентных функциональных уравнений.** Сформулируем задачу оптимизации корректировки процесса ИО для рассматриваемого примера. Требуется определить такие значения  $\tilde{y}_1, \tilde{y}_1', \tilde{y}_2, \tilde{y}_2', \tilde{y}_3, \tilde{y}_3'$  компоненты вектора корректировки на каждом шаге, которые дают минимум среднего суммарного показателя затрат на корректировку (10):

$$\eta_{2,3,4}(x_1, \tilde{y}_1, \tilde{y}_1', \tilde{y}_2, \tilde{y}_2', \tilde{y}_3, \tilde{y}_3') = \min_{\{Y\}}(x_1, \tilde{y}_1, \tilde{y}_1', \tilde{y}_2, \tilde{y}_2', \tilde{y}_3, \tilde{y}_3') = \mu$$

при ограничениях:

$$\left. \begin{aligned}y_1' &= \psi_1(y_1, t_1^*), \\ y_2' &= \psi_2(y_2, t_1^*, t_2^{**}), \\ y_3' &= \psi_3(y_3, t_1^*, t_2^{**}, t_3^{**}).\end{aligned} \right\}.\tag{11}$$

Для отыскания решения задачи введем в рассмотрение функцию:

$$\mu_N(x) = \min_{\{Y\}} \eta_{2,3,\dots,N}(x, y_1, y'_1, \dots, y_{N-1}, y'_{N-1}). \quad (12)$$

Пусть  $\mu_1(x)$  — средние минимальные затраты на корректировку программы работ в одношаговой операции, начинающейся в состоянии  $x$ .

Для второго этапа (первого шага):

$$\mu_{1(x)} = \min_{\{y_1, y'_{1y}\}} \Delta s^{(2)}(x, y_{1y}, y'_{1y}), \quad (13)$$

при  $y'_{1y} = \psi_1(y_{1y}, t_1)$ .

Далее переходим к 2-х шаговой операции:

$$\mu_2(x) = \min_{\{y_{2y(x)}, y'_{2y(x)}\}} \left[ \Delta s^{(2)}(x, y_{2y}, y'_{2y}) + \mu_1(x + \underbrace{\tilde{y}_{1y}}_{x_2}) \right]$$

и к 3-х шаговой операции, объединяя при этом 2-й и 3-й шаги в один шаг. Тогда в соответствии с принципом оптимальности [4]:

$$\left. \begin{aligned} \mu_3(x) &= \min_{y_{31}, y'_{31}} \Delta s^{(2)}(x_2, y_{31}, y'_{31} + \mu_2(x_2)), \\ y'_{3y} &= \psi_1(y_{3y}, t_1^*). \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Величина  $\mu_2(x_2)$  определяется, так же как  $\mu_2(x_1)$ , однако на вспомогательные переменные  $y_{21}, y'_{21}$  накладывается ограничение  $y'_{21} = \psi_2(y_{21}, t_1^*, t_2^{**})$ , а на вспомогательные переменные  $y_{22}, y'_{22}$  используемые для определения  $\mu_1(x_3)$  — ограничение  $y'_{22} = \psi_3(y_{22}, t_1^*, t_2^{**}, t_3^{**})$ :

$$\left. \begin{aligned} \mu_2(x_2) &= \min_{\{y_{21}, y'_{21}\}} \left[ \Delta s^{(3)}(x_2, y_{21}, y'_{21}) + \mu_1(x_3) \right]; \\ y'_{21} &= \psi_2(y_{21}, t_1^*, t_2^{**}), x_2 = x_1 + y_{1y}. \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

$$\left. \begin{aligned} \mu_1(x_3) &= \min_{\{y_{22}, y'_{22}\}} \Delta s^{(4)}(x_3, y_{22}, y'_{22}); \\ y'_{22} &= \psi_3(y_{22}, t_1^*, t_2^{**}, t_3^{**}), x_3 = x_2 + y_{22}. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Рекуррентные соотношения (14), (15), (16) соответствуют ретроспективной развертке (обратному ходу) алгоритма, а значения:

$$\tilde{y}_{3y}(x), \tilde{y}'_{3y}(x), \tilde{y}_{2y} = \tilde{y}_{21}, \tilde{y}'_{2y} = \tilde{y}'_{21}, \tilde{y}_{1y}(x) = y_{22}, \tilde{y}'_{1y}(x) = y'_{22}$$

являются условно-оптимальными значениями компонентов вектора корректировки.

Решив последовательно функциональные уравнения (14), (15), (16), при  $x = x_1 = t_1^* - m_1$ , определяем минимальные средние дополнительные затраты на информационное обеспечение:

$$\mu = \mu_3(x_1). \quad (17)$$

Затем, построив прямую развертку (прямой ход алгоритма), определяем оптимальные значения компонент вектора корректировки.

Оптимальная корректировка на 2-ом этапе:

$$\left. \begin{aligned} \tilde{y}_1 &= \tilde{y}_3(x_1), \\ \tilde{y}'_1 &= \tilde{y}'_3(x_1). \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

Оптимальная корректировка на 3-ем этапе:

$$\left. \begin{aligned} \tilde{y}_2 &= \tilde{y}_{2y}(x_1), \\ \tilde{y}'_2 &= \tilde{y}'_{2y}(x_1). \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

Оптимальная корректировка на 4-ом этапе:

$$\left. \begin{aligned} \tilde{y}_3 &= \tilde{y}_{1y}(x_1), \\ \tilde{y}'_3 &= \tilde{y}'_{1y}(x_1). \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

**7. Заключение.** Из вышеизложенного метода управления следует, что найденная оптимальная корректировка (18–20) является адаптивной и зависит от того, как будет развиваться случайный процесс информационного обеспечения.

Мы не определили жесткую «программу корректировки», но указали для каждой фазы процесса то «управление», которым следует отвечать на любой случайный исход предыдущей фазы.

Представленный алгоритм может быть переработан для других видов закона распределения продолжительности каждой из фаз, а также для вариантов с перестановкой этапов (например, вследствие изменения приоритетов или при целенаправленной рандомизации чередования фаз). Точность оценивания выигрыша от оптимизации в основном будет определяться степенью адекватности зависимостей, используемых при расчете затрат  $\Delta\hat{s}^{(v)}$ .

### Литература

1. *Александров А.Э., Якушев Н.В.* Стохастическая постановка динамической транспортной задачи с задержками с учетом разброса времени доставки // Управление большими системами. М.: ИПУ РАН. 2006. № 12–13. С. 5–14.
2. *Арчибальд Р.Д.* Управление высокотехнологичными программами и проектами // М.: ДМК Пресс. 2010. 464 с.
3. *Бородинова И.А., Сараев Л.А.* Стохастические транспортные задачи // Вестник Самарского Госуниверситета. 2010. № 7(81). С.1–20.
4. *Вентцель Е.С.* Элементы динамического программирования // М.: Наука. 1964. 176 с.
5. *Грушин Д.А.* Построение модели идентификации рисков при реализации компонентов системы // Системы управления бизнес-процессами. 2014. №13. С. 10–15.
6. *Елисеев А.С., Гитман М.Б.* Оценка устойчивости производственного плана с учетом стохастичности ресурсных ограничений // Управление большими системами. М.: ИПУ РАН. 2013. №42. С. 252–272.
7. *Заренков В.А.* Управление проектами: учебное пособие // СПб.: ГАСУ. 2010. 350 с.
8. *Иконникова А.Д., Соколов Б.В.* Динамическая модель планирования, модернизации и функционирования информационной системы // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2008. №11. С.62–69.
9. *Мэддон Дж.* Сто правил руководителей проекта НАСА. URL: [www.twirpx.com/file/1295724](http://www.twirpx.com/file/1295724) (дата обращения: 15.09.2015).
10. *Парамонов И.Ю., Смагин В.А., Харин В.Н.* Оценка эффективности функционирования информационной системы в условиях техногенного риска // Изв. высш. учебн. заведений: Приборостроение. 2015. № 3(58). С. 167–172.
11. *Петухов Г.Б., Якушин В.И.* Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем // М.: АСТ. 2006. 502 с.
12. *Соловьева И.В., Соколов Б.В.* Алгоритм коррекции планов работы корпоративной информационной системы на основе метода позиционной оптимизации // Труды СПИИРАН. 2012. № 20. С. 153–164.
13. *Толмачёв С.Г.* Принятие проектных решений на основе нечеткого отношения предпочтения // Информационно-управляющие системы. 2014. № 5(72). С. 42–51.
14. *Фридман А.Я., Курбанов В.Г.* Ситуационное моделирование надежности и безопасности промышленно-природных систем // Информационно-управляющие системы. 2014. № 4(71). С. 32–41.

15. Фроленков К.В. Уточнение оценок вероятностей при локальном апостериорном выводе в алгебраической байесовской сети в случае неточного свидетельства // Труды СПИИРАН. 2013. № 24. С. 152–164.

## References

1. Aleksandrov A.E., Jakushev N.V. [Stochastic formulation of the dynamic transport problem with delays in view of time scatter]. *Upravlenie bol'shimi sistemami – Complex system management*. M. IPU RAN. 2006. vol. 12–13. pp. 5–14. (In Russ.).
2. Archibal'd R.D. *Upravlenie vysokotekhnologichnymi programmami i proektami* [High tech programs and projects management]. M.: DMK Press Publ. 2010. 464 p. (In Russ.).
3. Borodinova I.A., Saraev L.A. [Stochastic transport problems]. *Vestnik Samarskogo Gosudarstvennogo Universiteta – Vestnik of Samara State University*. 2010. vol. 7(81). pp. 1–20. (In Russ.).
4. Ventcel' E.S. *Jelementy dinamicheskogo programmirovaniya* [Elements of dynamic programming]. M.: Nauka Publ. 1964. 176 p. (In Russ.).
5. Grushin D.A. [Construction of risk identification model on system components realization]. *Sistemy upravleniya biznes-processami – Business Process Management Systems*. 2014. vol. 13. pp. 10–15. (In Russ.).
6. Eliseev A.S., Gitman M.B. [Assessment of production plan stability in view of sources limits stochastics]. *Upravlenie bol'shimi sistemami – Complex system management*. Moscow: IPU RAN. 2013. vol. 42. pp. 252–272. (In Russ.).
7. Zarenkov V.A. *Upravlenie proektami: uchebnoe posobie* [Project management: tutorial]. SPb.: GASU. 2010. 350 p. (In Russ.).
8. Ikonnikova A.D., Sokolov B.V. [Dynamic model of information systems scheduling, modernization and functioning] *Izv. vyssh. uchebn. Zavedenij: Priborostroenie – Journal of Instrument Engineering*. 2008. no. 11, pp.62–69. (In Russ.).
9. Madden J. *Sto pravil rukovoditelej proekta NASA* [One Hundred Rules for NASA Project Managers]. Available at: [www.twirpx.com/file/1295724](http://www.twirpx.com/file/1295724) (accessed 15.09.2015). (In Russ.).
10. Paramonov I.U., Smagin V.A., Harin V.N. [Evaluation of information system functioning effectiveness in conditions of technogenic risk]. *Izv. vyssh. uchebn. zavedenij: Priborostroenie – Journal of Instrument Engineering*. 2015. vol. 3(58). pp. 167–172. (In Russ.).
11. Petuhov G.B., Jakunin V.I. *Metodologicheskie osnovy vneshnego proektirovaniya celenapravlennykh processov i celeustremlynykh sistem* [Methodological basics of purposeful processes and systems external projecting]. M. AST Publ. 2006. 502 p. (In Russ.).
12. Solovyova I.V., Sokolov B.V. [Algorithm of corporative informational system functioning schedules correction by means of positional optimization method]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2012. vol. 20. pp. 153–164. (In Russ.).
13. Tolmachyov S.G. [Project decisions making by means of unclear preference relation]. *Informacionno-upravljajushhie sistemy – Information and Control Systems*. Spb. 2014. vol. 5(72). pp. 42–51. (In Russ.).
14. Fridman A.J., Kurbanov V.G. [Situational modeling of industrial and natural systems reliability and safeness]. *Informacionno-upravljajushhie sistemy – Information and Control Systems*. 2014. vol. 4(71). pp. 32–41. (In Russ.).
15. Frolenkov K.V. [Clarification of probability values assessment at local a posteriori conclusion in Bayes algebraic net in case of inaccurate evidence]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2013. vol. 24. pp. 152–164. (In Russ.).

**Волков Валерий Федорович** — д-р воен. наук, профессор, профессор кафедры системного анализа и управления, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского. Область научных интересов: теория эффективности, исследование операций, системный анализ. Число научных публикаций — 250. valfedvolkov@gmail.com; ул. Ждановская 13, Санкт-Петербург, 197198; р.т.: +7(951)652-32-63.

**Volkov Valery Fedorovich** — Ph.D., Dr. Sci., professor, professor of systems analysis and control department, Mozhaisky Military Space Academy. Research interests: theory of effectiveness, operations research, system analysis. The number of publications — 250. valfedvolkov@gmail.com; 13, Zhdanovskaya street, St.-Petersburg, 197198, Russia; office phone: +7(951)652-32-63.

**Ковалев Александр Павлович** — д-р техн. наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, ведущий научный сотрудник лаборатории информационных технологий в системном анализе и моделировании, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН). Область научных интересов: системный анализ, теория надежности, модели и методы принятия решений в сложных организационных системах с использованием аэрокосмических данных. Число научных публикаций — 150. kbarsenal@peterlink.ru, http://www.litsam.ru; 14-я линия В.О., д. 39, Санкт-Петербург, 199178; р.т.: +7(812)328-01-03, Факс: +7(812)328-44-50.

**Kovalev Alexander Pavlovich** — Ph.D., Dr. Sci., professor, Honored scientist of the Russian Federation, leading researcher of laboratory for information technologies in systems analysis and modeling, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS). Research interests: system analysis, reliability theory, models and methods of decision making in complex organizational systems using aerospace data. The number of publications — 150. kbarsenal@peterlink.ru, http://www.litsam.ru; 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; office phone: +7(812)328-01-03, Fax: +7(812)328-44-50.

**Потрясаев Семен Алексеевич** — к-т техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории информационных технологий в системном анализе и моделировании, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН). Область научных интересов: разработка научных основ теории управления структурной динамикой сложных организационно-технических систем. Число научных публикаций — 40. spotryasaev@gmail.com; 14-я линия В.О., д. 39, Санкт-Петербург, 199178; р.т.: (812)328-0103, Факс: (812)328-4450.

**Potryasaev Semen Alekseevich** — Ph.D., senior researcher of laboratory for information technologies in systems analysis and modeling, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS). Research interests: analyses of systems, reliability theory, mathematical models and methods of decision-making support in complex technical-organizational systems with the use of aerospace data. The number of publications — 40. spotryasaev@gmail.com; 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; office phone: (812)328-0103, Fax: (812)328-4450.

**Салухов Владимир Иванович** — к-т техн. наук, доцент, руководитель исследовательской группы информационных технологий в образовании, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН). Область научных интересов: информационные технологии в образовании, управление

жизненным циклом инфотелекоммуникационных систем, анализ и разработка систем поддержки принятия решений на базе современных информационных технологий. Число научных публикаций — 50. vsaluhov@bk.ru; 14-я линия В.О., д. 39, Санкт-Петербург, 199178; p.t.: +7(812)3280382.

**Salukhov Vladimir Ivanovich** — Ph.D., associate professor, head of research group of information technologies in education, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS). Research interests: research and information technologies in education, lifecycle management infocommunication systems, analysis and development of support systems and decision making on the basis of modern information technologies. The number of publications — 50. vsaluhov@bk.ru; 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; office phone: +7(812)3280382.

**Поддержка исследований.** Работа выполнена при финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации: СПбГПУ (мероприятие 6.1.1), ИТМО (субсидия 074–U01), гранта РФФ № 16-19-00199, грантов РФФИ (№ 16-57-00172-Бел\_а, 16-07-00779, 16-08-01068, 16-07-01277, 15-07-08391, 15-08-08459, 16-08-00510, 16-07-00925) Программы фундаментальных научных исследований ОНИТ РАН (проект № 2.11).

**Acknowledgements.** Work is executed at financial support of the leading universities of the Russian Federation: STU (activity 6.1.1), the ITMO University (grant 074–U01), grant RSF № 16-19-00199, RFBR grants (No. 16-57-00172-Bela, 16-07-00779, 16-08-01068, 16-07-01277, 15-07-08391, 15-08-08459, 16-08-00510, 16-07-00925), Program of fundamental scientific research ONIT Russian Academies of Sciences (grant 2.11).

## РЕФЕРАТ

### *Волков В.Ф., Ковалев А.П., Потрясаев С.А., Салухов В.И.* **Алгоритм оперативного управления ресурсами при развертывании систем информационного обеспечения сложных технических комплексов.**

Рассматривается задача управления расходом ресурсов в процессе развертывания систем информационного обеспечения (РСИО) сложных технических комплексов (СТК). Применение СТК по целевому назначению, как и процесс соответствующего информационного обеспечения, обычно ограничено жесткими директивными сроками, поэтому любая задержка недопустима. Ее устранение может быть реализовано часто только за счет привлечения дополнительных информационных ресурсов на последующих этапах. Разработанный алгоритм базируется на принципе оптимальности Р. Беллмана, позволяющем определять не окончательный план корректировки, а разрабатывать гибкую программу управляющих воздействий, зависящих от конкретного исхода каждого этапа, длительность которого превысила заданный норматив. Данный алгоритм может быть реализован в соответствующих системах поддержки принятия решений, а также включен в имитационные модели процессов развертывания и применения СТК. В статье описывается детальный алгоритм оптимальной корректировки, соответствующий нормальному распределению продолжительности каждого из этапов. В качестве "индикатора" рассматривается величина риска невыполнения требований потребителя (заказчика) по сроку развертывания системы информационного обеспечения СТК, в качестве параметра состояния — величина «опоздания».

Выбранный показатель уточняется после определения оценки ожидаемой продолжительности выполнения задачи с учетом отставания, возникшего после очередного этапа. Корректировка реализуется по критерию минимизации дополнительно привлекаемых информационных ресурсов при ограничении на риск невыполнения задач РСИО в заданный срок. На примере четырехэтапного процесса РСИО для варианта одношаговой корректировки приводится аналитическое решение. Такой вариант может иметь место не только для РСИО, но и для самого процесса ИО СТК: например, первый этап — предварительное получение информации от внешних источников; второй этап — априорное получение информации от собственных средств; третий этап — оперативное получение информации от собственных средств; четвертый этап — контроль факта исполнения запланированных действий. Представленный алгоритм может быть переработан для других видов закона распределения продолжительности каждой из фаз, а также для вариантов с перестановкой этапов (например, вследствие изменения приоритетов или при целенаправленной рандомизации чередования фаз). Точность оценивания выигрыша от оптимизации в основном будет определяться степенью адекватности зависимостей, используемых при расчете затрат на корректировку.

## SUMMARY

### *Volkov V.F., Kovalev A.P., Potryasaev S.A., Salukhov V.I.* **Algorithm of Sources Management in Deploying of Information Support Systems for Complicated Technical Complexes.**

The paper discusses a task of sources consumption management in the process of deploying information support systems for complicated technical complexes (CTC). Application of CTC as well as the process of the corresponding information support are usually limited by the exact prescribed terms, so any delay is not allowable. The delay may be eliminated more often only by involving additional information sources at later stages. The developed algorithm is based on Bellman principle of optimality that allows one to define not the final correction schedule, but to operate a flexible program of control actions, depending on the concrete result at every stage, duration of which exceeds a defined norm. This program can be used in the appropriate decision support systems and can be included in the simulation models of CTC deploying and applying. The paper describes a detailed algorithm for optimal correction, corresponding to the normal distribution of stages durations. An “indicator” is represented by the risk magnitude of failure to comply with customer’s requirements as to duration of information support system deploying, and a state parameter is represented by the value of “delay”. The selected indicator is specified after assessing the expected duration of task performing, considering the delay that occurs after the next stage. Correction is carried out according to the criterion of minimization of additional information sources, when restricted to the risk of failure of information support system deploying in a given period. The paper presents an analytical solution in terms of the four-stage information support system deploying process for one-step correction option. Such an option can take place not only for information support systems deploying, but also for the process of CTC information support: for example, the first stage is prior obtaining of information from external sources; the second stage is prior obtaining of information from own funds; the third stage is operational obtaining of information from own funds; the fourth stage is the control of scheduled operations performing. The submitted algorithm can be reworked for other distribution laws of stage durations and for options with permutation of stages (for example, because of the priority changes or targeted randomization of phase sequence). The accuracy of estimating a gain from optimization will be basically determined by the degree of adequacy of the dependencies used for calculating costs of adjustment.