АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОЙ КОРРЕКТИРОВКИ ПРОЦЕССА РАЗВЕРТЫВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

А. А. Толмачев¹, В. Ф. Волков², А. С. Андрианов²

¹Военная академия воздушно-космической обороны имени Маршала Советского Союза Г. К. Жукова, г. Тверь, Российская Федерация

²Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Рассматривается задача управления расходом ресурсов в процессе развертывания сложных технических комплексов, таких как малогабаритная модульная квантово-оптическая система «Сажень-ТА». Развертывание сложных технических комплексов для их применения по целевому назначению обычно ограничено жесткими директивными сроками, поэтому любая задержка недопустима. Ее устранение может быть реализовано чаще всего только за счет привлечения дополнительных ресурсов на последующих этапах. Разработанный алгоритм базируется на принципе оптимальности Р. Беллмана, позволяющем 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 квантово-оптической системы «Сажень-ТА». В статье описывается детальный алгоритм оптимальной корректировки, соответствующий нормальному распределению продолжительности каждого из этапов. Оперативные характеристики развертывания сложных технических комплексов определяются требованиями вышестоящих уровней управления, а специфика задач, решаемых потребителями, может ограничить функционирование сложных технических комплексов пределами одного технологического цикла. На практике из-за влияния случайных или неучтенных факторов всегда существует риск не уложиться в заданный заказчиком срок. Один из возможных подходов к расчету данных рисков заключается в последовательном уточнении значений вероятностей успешного выполнения задачи развертывания с учетом фактического времени, затраченного на предыдущие этапы.

Ключевые слова: адаптивная корректировка, развертывание, инновационная космическая инфраструктура, ретроспективная развертка, принцип оптимальности, условно-оптимальное управление, дополнительные ресурсы.

Введение

Рассмотрим процесс управления развертыванием сложных технических комплексов (СТК), функционирующих по жесткому временному регламенту. Оперативные характеристики развертывания СТК определяются требованиями вышестоящих уровней управления, а специфика задач, решаемых потребителями, может ограничить функционирование СТК пределами одного технологического цикла. На практике из-за влияния случайных или неучтенных факторов всегда существует риск не уложиться в заданный заказ-

чиком срок. Один из возможных подходов к расчету данных рисков заключается в последовательном уточнении значений вероятностей успешного выполнения задачи развертывания с учетом фактического времени, затраченного на предыдущие этапы.

Постановка задачи

Обозначим $z_{\text{пл}}$ плановое (нормативное) значение продолжительности всего цикла развертывания системы; $\hat{t}_i$ – продолжительность i -го этапа, $i = (1, N)$, т. е. $\sum_{i=1}^N \hat{t}_i^{\text{пл}} = z_{\text{пл}}$.

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 развертывания был реализован за время t_1^* , причем $t_1^* > t_1^{пл}$, т. е. величина $t_1^* > t_1^{пл}$ – это величина задержки (опоздания), и продолжительность выполнения задачи развертывания подлежит уточнению:

$$\hat{z}_1 = \frac{\hat{z}}{t_1^*} = t_1^* + \hat{t}_2 + \hat{t}_3 + \dots + \hat{t}_N \quad [1].$$

Обозначим $1 - \gamma_{t_1^*} = R_{t_1^*}$ – риск невыполнения требований потребителя (заказчика) по сроку развертывания малогабаритной модульной квантово-оптической системы (ММОС) «Сажень-ТА». Применив аппарат теории вероятностей, получим:

$$\varphi_{t_1^*} = \int_0^{z_{пл}} \varphi_{\hat{z}_1}(t) dt,$$

где

$$\gamma_{\hat{z}_1} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-ju(t-t_1^*)} du * \prod_{i=2}^N e^{jux} \varphi_{t_i}(x; A_{\langle K_i \rangle}) dx.$$

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

Обозначим $Y_{\langle K_2 \rangle}$ дополнительно привлекаемые ресурсы, т. е. $A_{\langle K_2 \rangle} = A_{\langle K_2 \rangle} + Y_{\langle K_2 \rangle}$; $f^{(2)}$ – функция зависимости стоимости $\Delta s^{(2)}$ корректировки от значений дополнительных ресурсов, т. е. $\Delta s^{(2)} = f^{(2)}(Y_{\langle K_2 \rangle})$ [2].

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

Пусть реализовано $(v-1)$ этапов, т. е.

$$\frac{\hat{z}}{T_{(v-1)}^*} = \hat{z}_{(v-1)} = \sum_{i=1}^{(v-1)} t_i^* + \hat{t}_v + \dots + \hat{t}_N,$$

тогда риск невыполнения задачи развертывания в заданный срок с учетом исхода $(v-1)$ -го этапов определяется по формуле

$$R_{T_{(v-1)}^*} = 1 - \int_0^{z_{пл}} \gamma_{\hat{z}/T_{(v-1)}^*}(t) dt,$$

где

$$\gamma_{\hat{z}/T_{(v-1)}^*} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-ju\left(t - \sum_{i=1}^{(v-1)} t_i^*\right)} du * \prod_{i=v}^N e^{jux} \varphi_{t_i^*}(x; A_{\langle K_i \rangle}) dx.$$

Задача оптимальной корректировки процесса развертывания формулируется следующим образом. Требуется определить такие значения $\hat{Y}_{\langle K_v \rangle}$ вектора корректировок на каждом этапе, для которых минимизируются дополнительно привлекаемые ресурсы при ограничении на риск невыполнения задач развертывания в заданный срок [3].

$$\Delta s(\hat{Y}_{\langle K_2 \rangle}, \dots, \hat{Y}_{\langle K_N \rangle}) = \sum \Delta s^{(v)}(\hat{Y}_{\langle K_v \rangle}) \rightarrow \min_{Y_{\langle K_v \rangle}} \Delta s(Y_{\langle K_2 \rangle}, \dots, Y_{\langle K_N \rangle}) \quad (1)$$

при ограничениях:

$$\gamma_1(t_1^*, \hat{Y}_{\langle K_1 \rangle}) = \gamma_{дир};$$

$$\gamma_2(t_1^*, t_2^*, \hat{Y}_{\langle K_1 \rangle}) = \gamma_{дир}; \quad \varphi_{t_2}(t) = \varphi_{t_2}(t, (A_{\langle K_2 \rangle} + \hat{Y}_{\langle K_N \rangle}));$$

.....

$$\gamma_{N-1}(t_1^*, t_2^*, \dots, \hat{Y}_{\langle K_{N-1} \rangle}) = \gamma_{дир};$$

$$\varphi_{t_{N-1}}(t) = \varphi_{t_{N-1}}(t, (A_{\langle K_{N-1} \rangle} + \hat{Y}_{\langle K_{N-2} \rangle})).$$

Специфика данной задачи оптимизации (многоэтапность процесса, случайный характер исхода каждого этапа, зависимость исхода этапа от корректировки параметров распределения его продолжительности, аддитивность показателя (1) делают естественным обращение к алгоритмам стохастического динамического программирования для получения решения задачи. Для некоторых законов распределения величин t_i и небольшого числа этапов решение может быть получено аналитически. Покажем это на примере четырех-этапного процесса развертывания для варианта нормального закона распределения продолжительности величин $\hat{t}_i$.

Параметр состояния

Проведем следующие рассуждения. Пусть реализован первый этап, он продолжался t_1^* единиц времени и вероятность γ_1 оказывается меньше заданной $\gamma_{дир}$.

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

Пусть после корректировки параметров $M[\hat{t}_2], \sigma[\hat{t}_2]$ реализован 2-й этап и $\gamma_2^* < \gamma$.

Тогда стоимость дополнительно используемых на 3-м этапе ресурсов будет пропорциональна суммарной величине «опоздания»: $(t_1^* - m_1 + t_2^* - m_2)$. Аналогично, $\Delta s^{(4)} \sim t_1^* - m_1 + t_2^* - m_2 + t_3^* - m_3$.

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

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= t_1^* - m_1; \\ \hat{x}_2 &= t_1^* - m_1 + t_2^* - m_2; \\ \hat{x}_3 &= t_1^* - m_1 + t_2^* - m_2 + t_3^* - m_3 \end{aligned} \right\}. \quad (2)$$

Алгоритм динамической корректировки

Вероятность своевременного информационного обеспечения с учетом исхода t_1^* первого этапа равна:

$$\Delta s^{(2)} \sim t_1^* - t_1^{\text{пл}} = t_1^* - m_1; \\ \gamma_1^* = \frac{1}{2} \left[\Phi \left(\frac{z_1^{\text{ле}} - t_1^* - m_2 - m_3 - m_4}{\sqrt{\sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2} \cdot \sqrt{2}} \right) + 1 \right], \quad (3)$$

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

При $\gamma_1^* < \gamma$:

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

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

$$\frac{1}{2} \left[\Phi \left(\frac{z_1^{\text{ле}} - t_1^* - m_2 - y_1 - m_3 - m_4}{\sqrt{(\sigma_2 + y_1')^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2} \cdot \sqrt{2}} \right) + 1 \right] = \gamma \quad (5)$$

или $y_1' = \psi_1(y_1, t_1^*)$.

Пусть $t_2 = t_2^{**} = t_2^*(y_1, y_1')$. Вероятность γ_2^{**} равна:

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

При $\gamma_2^{**} < \gamma$:

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

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:

$$\frac{1}{2} \left[\Phi \left(\frac{z^{\text{пл}} - t_1^* - t_2^{**} - m_3 - y_2 - m_4}{\sqrt{(\sigma_3 + y_2')^2 + \sigma_4^2} \cdot \sqrt{2}} \right) + 1 \right] \geq \gamma \quad (9)$$

или $y_2' = \psi_2(y_2, t_1^*, t_2^{**})$.

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 $\Delta s^{(v)}$ на каждом шаге) остаются случайной величиной. Однако мы можем выбрать такую корректировку, при которой среднее значение $M[\hat{\eta}_{2,3,4}]$ стоимости дополнительно используемых ресурсов будет минимально [4, 5].

Функция дополнительных затрат

Пусть $t_1 = t_1^*$. Чтобы «уложиться» в заданное время $z^{\text{пл}}$, нужно 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 среднеквадратическое отклонение $\sigma_{\hat{t}_2}$, т.е. должно быть:

$$\Delta \bar{t}_2 = \bar{t}_2' - \bar{t}_2 < 0,$$

$$\Delta \sigma_{\hat{t}_2} = \sigma_{\hat{t}_2}' - \sigma_{\hat{t}_2} < 0.$$

При этом очевидно, что стоимость корректировки пропорциональна модулям величин $\bar{t}_2, \sigma_{\hat{t}_2}$, т.е. $\Delta s^{(2)} \sim |\bar{t}_2|$; $\Delta s^{(2)} \sim |\sigma_{\hat{t}_2}|$.

Но $\Delta \bar{t}_2 = y_1, \Delta \tau_{\hat{t}_2} = y_1'$.

Можно доказать, что среднее значение суммарного показателя эффективности корректировки равно: $\hat{\eta}_{2,3,4}(x_1, y_1, y_1', y_2, y_2', y_3, y_3') =$

$$= \sum_{v=1}^3 c_v^x x_v + c_v^{\Delta m} y_v^2 + c_v^{\Delta \sigma} y_v',$$

где

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

Составление и решение рекуррентных функциональных уравнений

Сформулируем задачу оптимизации корректировки процесса развертывания 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):

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

при ограничениях:

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

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):

$$\mu_1(x) = \min_{y_{1y}, y_{1y}'} \Delta s^{(2)}(x, y_{1y}, y_{1y}') \quad (13)$$

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

Далее переходим к 2-шаговой операции:

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

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

$$\mu_3(x) = \min_{y_{31}, y_{31}'} \Delta s^{(2)}(x_2, y_{31}, y_{31}' + \mu_2(x_2)) \quad (14)$$

при $y_{3y}' = \psi_3(y_{3y}, t_1^*)$.

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:

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

являются условно-оптимальными значениями компонентов вектора корректировки [6].

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

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

Затем, построив прямую развертку (прямой ход алгоритма), определяем оптимальные значения компонент вектора корректировки [7].

Оптимальная корректировка на 2-м 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-м 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-м этапе:

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

Пример работы алгоритма

Рассмотрим пример работы алгоритма оптимальной корректировки процесса развертывания сложных технических комплексов космической

Рис. 1. Время этапов развертывания до и после корректировки

плуатационной практики. Проведем моделирование процессов развертывания по 200 раз, каждый без коррекции и с ней. Усредненные результаты моделирования показаны на рис. 1.

Как видно из результатов, после корректировки плана развертывания время первого этапа развертывания превышает директивное на 30 %, как и без корректировки, а время второго и третьего этапов снизилось на 10 % и 20 % соответственно. Таким образом, время развертывания уменьшилось с 2,5 часа до 2,2 часа.

Заключение

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

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) [8, 9, 10]. Точность оценивания выигрыша от оптимизации в основном будет определяться степенью адекватности зависимостей, используемых при расчете затрат $\Delta \hat{s}^{(v)}$.

Список литературы

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, вып. 12–13. С. 5–14.
2. Бородинова И. А., Сараев Л. А. Стохастические транспортные задачи // Вестник Самарского госуниверситета. 2010. Вып. 7 (81). С. 1–20.
3. Грушин Д. А. Построение модели идентификации рисков при реализации компонентов системы // Системы управления бизнес-процессами. 2014. № 13. С. 10–15.
4. Иконникова А. Д., Соколов Б. В. Динамическая модель планирования, модернизации и функционирования информационной системы // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2008. № 11. С. 62–69.
5. Петухов Г. Б., Якунин В. И. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем. М. : АСТ, 2006. 502 с.
6. Толмачёв С. Г. Принятие проектных решений на основе нечеткого отношения предпочтения // Информационно-управляющие системы. СПб., 2014. № 5 (72). С. 42–51.
7. Фридман А. Я., Курбанов В. Г. Ситуационное моделирование надежности и безопасности промышленно-природных систем // Информационно-управляющие системы. СПб., 2014. № 4 (71). С. 32–41.
8. Лясковский В.Л. [и др.]. Общесистемное проектирование и содержание работ по проектированию АСОИУ : учеб. пособие. Тверь : ВА ВКО, 2010. 188 с.
9. Наблюдение и измерение характеристик космических объектов : учеб. пособие / В. Н. Алдохина, А. А. Бабишкин, В. О. Королёв, Д. А. Рогов, Р. В. Катюха ; под общ. ред. В. Н. Алдохиной. СПб. : ВКА имени А. Ф. Можайского, 2016. 174 с.

10. Волков В. Ф., Толмачев А. А. Методика обоснования рационального варианта системы информационного обеспечения АСУ специального назначения // Научно-технические технологии в космических исследованиях Земли. СПб., 2014. № 5. С. 52–59.

История статьи

Поступила в редакцию 6 марта 2018 г.

Принята к публикации 9 апреля 2018 г.

ALGORITHM OF OPTIMAL CORRECTION OF THE PROCESS OF DEPLOYMENT OF COMPLEX TECHNICAL COMPLEXES OF SPACE INFRASTRUCTURE

A. A. Tolmachev¹, V. F. Volkov², A. S. Andrianov²

¹Military Aerospace Defense Academy, Tver, Russian Federation

²Military Space Academy, Saint Petersburg, Russian Federation

The problem of resource consumption control in the process of deployment of complex technical complexes, such as small-sized modular quantum-optical system "Sazhen-TA" is considered. The deployment of complicated technical complexes for their use for the intended purpose are usually limited to hard policy terms, therefore, any delay is unacceptable. Its elimination can be realized, most often, only by attracting additional resources in the subsequent stages. The developed algorithm is based on the principle of optimality of R. Bellman, which allows not to determine the final plan of correction, but to develop a flexible program of control actions that depend on the specific outcome of each stage, the duration of which exceeded the specified standard. This program can be implemented in appropriate decision support systems, as well as included in the simulation models of the deployment and application of quantum-optical system "Sazhen-TA". The article describes a detailed algorithm of optimal correction corresponding to the normal distribution of the duration of each stage. Operational characteristics of expansion of difficult technical complexes are defined by requirements of higher levels of management, and the specifics of the tasks solved by consumers can limit functioning of difficult technical complexes to limits of one production cycle. In practice because of influence of random or unaccounted factors there is always a risk not to meet the deadline set by the customer. One of possible approaches to calculation of these risks consists in consecutive specification of values of probabilities of successful performance of a problem of expansion taking into account the actual time spent for the previous stages.

Keywords: adaptive adjustment, the deployment of innovative space infrastructure, the retrospective scan, principle of optimality, conditionally-optimal control, additional resources.

References

1. Aleksandrov A. E., Yakushev N. V. *Stokhasticheskaya postanovka dinamicheskoy transportnoy zadachi s zaderzhkami s uchetom razbrosa vremeni dostavki* [Stochastic statement of the dynamic transport problem with delays taking into account the spread of the delivery time]. Upravleniye bol'shimi sistemami. Moscow, IPU RAN, 2006, no. 12-13, pp. 5–14. (In Russian)
2. Borodina I. A., Sarayev L. A. *Stokhasticheskiye transportnyye zadachi* [Stochastic transport problems]. Vestnik Samarskogo Gosuniversiteta, 2010, no. 7 (81), pp. 1–20. (In Russian)
3. Grushin D. A. *Sistemy upravleniya biznes – protsessami* [Building a risk identification model for the implementation of system components], 2014, no. 13, pp. 10–15. (In Russian)
4. Ikonnikova A. D., Sokolov B. V. *Dinamicheskaya model' planirovaniya, modernizatsii i funktsionirovaniya informatsionnoy sistemy* [Dynamic model of planning, modernization and functioning of the information system]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroyeniye, 2008, no. 11, pp. 62–69. (In Russian)
5. Petukhov G.B., Yakunin V.I. *Metodologicheskiye osnovy protsessa proyektirovaniya tselenapravlennykh protsessov i tselestremlennykh sistem* [Methodological basis of external design of purposeful processes and purposeful systems]. Moscow, AST Publ., 2006. 502 p.
6. Tolmachov S.G. *Prinyatiye proyektnykh resheniy na osnove nechetkogo otnosheniya predpochteniya* [Adoption of design solutions based on a fuzzy preference relation]. Informatsionno-upravlyayushchiye sistemy, Saint-Petersburg, 2014, no. 5 (72), pp. 42–51. (In Russian)

7. Fridman A. YA., Kurbanov V. G. *Situatsionnoye modelirovaniye nadezhnosti i bezopasnosti promyshlennno-prirodnnykh sistem* [Situational modeling of reliability and safety of industrial natural systems]. Informatsionno-upravlyayushchiye sistemy, Saint-Petersburg, 2014, no. 4 (71) pp. 32–41. (In Russian)
8. Lyaskovskiy V. L. e.a. *Obshchesistemnoye proyektirovaniye i sodержaniye rabot po proyektirovaniyu ASOIU: uchebnoye posobiye* [System-wide design and maintenance of design works of ASOIU: a tutorial]. Tver', VA VKO Publ., 2010, 188 p.
9. Aldokhina V. N., Babishkin A. A., Korolev V. O., Rogov D. A., Katyukha R. V. *Nablyudeniye i izmereniye kharakteristik kosmicheskikh ob'yektov: uchebnoye posobiye* [Observation and measurement of the characteristics of space objects: a tutorial]. Saint-Petersburg, VKA imeni A.F. Mozhayskogo, 2016. 174 p.
10. Volkov V.F. Tolmachev A.A. *Metodika obosnovaniya racional'nogo varianta sistemy informacionnogo obespecheniya ASU special'nogo naznachenija* [The method of substantiation of a rational variant of the information system of the special purpose ACS]. Naukojomiye tehnologii v kosmicheskikh issledovaniyakh Zemli, Saint-Petersburg, 2014, no. 5, pp. 52–59. (In Russian)

Article history

Received 6 March 2018

Accepted 9 April 2018