

УДК 658.52.011

О.Е. Федорович, Т.Н. Назаренко

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Украина

ВЫБОР ИНФОРМАЦИОННЫХ КАНАЛОВ СВЯЗИ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ КОММУНИКАЦИОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТА

Рассматриваются процессы обмена информацией в коммуникационном взаимодействии исполнителей инновационного проекта. Выбор информационных каналов связи для передачи информации, необходимой для решения основных функциональных задач проекта, рассматривается с учетом основных критериев и ограничений: стоимость и надежность канала, время передачи информации. Сформулированы постановки задачи оптимизации выбора информационных каналов связи для организации коммуникационных взаимодействий исполнителей проекта с использованием метода целочисленного линейного программирования с булевыми переменными. Для решения многокритериальной задачи используется важность отдельных критериев, оцененная с помощью экспертов.

Ключевые слова: коммуникационное взаимодействие исполнителей проекта, структура информационных каналов связи, метод целочисленного линейного программирования.

Введение

Из всего многообразия проектов, с которыми приходится сталкиваться в реальной жизни, выделим инновационные проекты. К отличительным особенностям таких проектов относится, прежде всего, преобладание информационных процессов [1]. Как правило, это достаточно сложные, долгосрочные проекты, которые выполняются организациями с многоуровневой организационной системой управления. Для достижения поставленных целей приходится решать большое количество задач многоуровневого взаимодействия и координации между участниками проекта, что в свою очередь влияет на директивные сроки, установленные заказчиком. Руководство современных предприятий вынуждено уделять большое внимание вопросам коммуникационного взаимодействия участников инновационного проекта [2], их согласованному функционированию в процессе выполнения проекта. Выбор коммуникации для взаи-

модействия участников проекта зависит от целого ряда факторов. К основным факторам можно отнести объем передаваемой информации, направление и способ обмена информацией [3]. Учитывая, что, зачастую исполнители инновационного проекта могут быть достаточно удалены друг от друга, возникают требования по времени передачи больших объемов информации, надежности каналов связи, с учетом допустимых затрат на создание структуры информационной связи.

Поэтому тема данной публикуемой статьи актуальна, так как в ней рассматривается задача выбора и обоснования информационных каналов связи (ИКС) для организации коммуникационных взаимодействий исполнителей инновационного проекта.

Постановка задачи исследования

Планирование коммуникаций предполагает разработку информационно-технической модели [4], которая позволяет отобразить коммуникационные

связи между участниками проекта, их информационные потребности, а также способ обмена информацией.

Существенное влияние на структуру коммуникационных взаимодействий оказывает структура работ проекта. Поэтому в данной работе рассмотрены два типа моделей выполнения инновационного проекта: каскадная модель и сетевая модель [5].

Когда используется каскадная модель выполнения инновационного проекта, функциональные задачи (ФЗ) проекта (этапы) следуют друг за другом, образуя последовательную цепь.

Пусть путем предварительного анализа будущего инновационного проекта определены, с помощью руководителя и менеджеров проекта, объемы передаваемой информации для решения функциональных задач проекта, где V_i – объем входной информации для решения i -й ФЗ, $i = \overline{1, N}$, N – количество ФЗ проекта.

Проведена предварительная оценка множества возможных типов ИКС для организации информационных обменов в коммуникационных взаимодействиях исполнителей и определены:

- p_j – скорость передачи информации для j -го типа ИКС, $j = \overline{1, M}$, M – общее количество возможных типов ИКС;
- λ_{ij} – интенсивность отказов ИКС j -го типа при передаче информации для решения i -й ФЗ;
- $\frac{V_i}{p_j} = t_{ij}$ – время передачи информации по ИКС j -го типа для решения i -й ФЗ;
- c_{ij} – стоимость ИКС j -го типа, используемого при передаче информации для решения i -й ФЗ (учитывается удаленность исполнителей проекта).

Необходимо путем решения оптимизационной задачи выбрать состав информационных каналов связи, при котором обеспечиваются наилучшие значения для следующих критериев, используемых для оценки коммуникационных взаимодействий исполнителей проекта:

- C – стоимость построения ИКС;
- T – суммарное время передачи информации для решения всех ФЗ проекта;
- P – надежность каналов передачи информации.

Решение задачи исследования

Для решения оптимизационной задачи по выбору каналов связи для передачи информации в коммуникационном взаимодействии исполнителей инновационного проекта воспользуемся математическим методом линейного целочисленного программирования [6].

Введем булеву переменную $x_{ij} = \{1, 0\}$, где $x_{ij} = 1$ означает, что для решения i -й ФЗ входная информация поступает по выбранному каналу связи j -го типа, $i = \overline{1, N}$, $j = \overline{1, M}$; $x_{ij} = 0$ – в противном случае. Обязательным условием является выполнение следующего равенства:

$$\sum_j x_{ij} = 1 \text{ для всех } i = \overline{1, N}.$$

С учетом введенной булевой переменной x_{ij} сформируем основные критерии для решения оптимизационной задачи:

1. $C = \sum_i \sum_j x_{ij} c_{ij}$ – стоимость построения каналов связи.

2. $T = \sum_i \sum_j x_{ij} t_{ij}$ – суммарное время передачи информации для решения всех ФЗ проекта.

3. $P = e^{-(\lambda t)_\Sigma} = e^{-\sum_i \sum_j x_{ij} \lambda_{ij} t_{ij}}$ – надежность каналов передачи информации, которые связывают участников проекта.

Под надежностью канала связи будем понимать вероятность его безотказной работы. В дальнейшем будем использовать линеаризованную оценку вероятности безотказной работы каналов связи P в виде:

$$(\lambda t)_\Sigma = \sum_i \sum_j x_{ij} \lambda_{ij} t_{ij}.$$

Ограничения, накладываемые на значения используемых критериев, будут следующими:

1. \hat{C} – допустимая стоимость построения каналов связи, $C \leq \hat{C}$.
2. \hat{T} – допустимое суммарное время передачи информации для решения всех ФЗ проекта, $T \leq \hat{T}$.
3. $(\hat{\lambda} t)_\Sigma$ – пороговое значение надежности используемых каналов передачи информации, $(\lambda t)_\Sigma \leq (\hat{\lambda} t)_\Sigma$.

Рассмотрим основные постановки задачи оптимизации по выбору каналов связи для передачи информации в коммуникационных взаимодействиях исполнителей основных ФЗ проекта:

1. Минимизация затрат на построение ИКС для организации коммуникационных взаимодействий исполнителей инновационного проекта:

$$\min C$$

с выполнением ограничений:

$$T \leq \hat{T}, (\lambda t)_\Sigma \leq (\hat{\lambda} t)_\Sigma.$$

С учетом введенных булевых переменных x_{ij} получим:

$$\min C, C = \sum_i \sum_j x_{ij} c_{ij}.$$

Ограничениями являются:

$$\sum_i \sum_j x_{ij} t_{ij} \leq \hat{T},$$

$$\sum_i \sum_j x_{ij} \lambda_{ij} t_{ij} \leq (\hat{\lambda}t)_{\Sigma}.$$

2. Минимизировать суммарное время обмена информацией в коммуникационных взаимодействиях исполнителей проекта:

$$\min T$$

с учетом ограничений:

$$C \leq \hat{C}, (\lambda t)_{\Sigma} \leq (\hat{\lambda}t)_{\Sigma}.$$

Используя введенные булевы переменные x_{ij} , получим:

$$\min T, T = \sum_i \sum_j x_{ij} t_{ij}.$$

Ограничениями являются:

$$\sum_i \sum_j x_{ij} c_{ij} \leq \hat{C}, \sum_i \sum_j x_{ij} \lambda_{ij} t_{ij} \leq (\hat{\lambda}t)_{\Sigma}.$$

3. Максимизировать надежность ИКС для обмена информацией в коммуникационных взаимодействиях исполнителей проекта:

$$\min(\lambda t)_{\Sigma}$$

с выполнением ограничений:

$$C \leq \hat{C}, T \leq \hat{T}.$$

С учетом введенных булевых переменных x_{ij} получим:

$$\min(\lambda t)_{\Sigma}, (\lambda t)_{\Sigma} = \sum_i \sum_j x_{ij} \lambda_{ij} t_{ij}.$$

Ограничениями являются:

$$\sum_i \sum_j x_{ij} c_{ij} \leq \hat{C}, \sum_i \sum_j x_{ij} t_{ij} \leq \hat{T}.$$

4. Многокритериальная постановка оптимизационной задачи выбора ИКС для обмена информацией между исполнителями проекта в их коммуникационных взаимодействиях.

Предварительно переведем критерии в безразмерную шкалу. Получим:

$$C' = \frac{C}{\hat{C}}, T' = \frac{T}{\hat{T}}, (\lambda t)'_{\Sigma} = \frac{(\lambda t)_{\Sigma}}{(\hat{\lambda}t)_{\Sigma}}$$

Пусть с помощью экспертного оценивания определена важность $\alpha_C, \alpha_T, \alpha_P$ отдельных критериев (стоимость, время, надежность).

При этом $0 \leq \alpha_C \leq 1, 0 \leq \alpha_T \leq 1, 0 \leq \alpha_P \leq 1$, а

также соблюдается условие $\sum_{k=1}^3 \alpha_k = 1$.

Введем комплексный критерий для выбора и обоснования ИКС в коммуникационных взаимодействиях исполнителей инновационного проекта.

Представим его в виде:

$$K = \alpha_C C' + \alpha_T T' + \alpha_P (\lambda t)'_{\Sigma}.$$

Необходимо найти $\min K$, где:

$$C' = \frac{C}{\hat{C}} \sum_i \sum_j x_{ij} c_{ij}, T' = \frac{T}{\hat{T}} \sum_i \sum_j x_{ij} t_{ij},$$

$$(\lambda t)'_{\Sigma} = \frac{(\lambda t)_{\Sigma}}{(\hat{\lambda}t)_{\Sigma}} \sum_i \sum_j x_{ij} \lambda_{ij} t_{ij},$$

с учетом ограничений по стоимости, времени и надежности каналов:

$$C \leq \hat{C}, T \leq \hat{T}, (\lambda t)_{\Sigma} \leq (\hat{\lambda}t)_{\Sigma}.$$

Рассмотрим задачу выбора и обоснования ИКС в сетевой модели выполнения проекта.

Будем считать, что для выполнения j -й ФЗ необходимо передать информацию от тех i -х ФЗ, которые являются связанными по входу с j -й ФЗ. Эту взаимосвязь можно представить с помощью матрицы входов INP , у которой на пересечении i -й строки и j -го столбца стоит 1 или 0, что указывает на связь i -го выхода с j -м входом, $i \neq j, i, j = \overline{1, N}$, где N – количество ФЗ для выполнения инновационного проекта.

Таким образом, матрица INP указывает на связи по входу j -й ФЗ со всеми остальными ФЗ.

Пусть в результате предварительного анализа плана выполнения инновационного проекта и оценок экспертов определены:

V_{ij} – объем входной информации, необходимой для решения j -й ФЗ по результату решения i -й ФЗ;

P_{ijk} – скорость передачи информации от i -й ФЗ к j -й ФЗ, если выбран ИКС k -го типа, $k = \overline{1, M}$;

$$t_{ijk} = \frac{V_{ij}}{P_{ijk}} \text{ – время передачи информации от } i \text{-й ФЗ к } j \text{-й ФЗ, если выбран ИКС } k \text{-го типа;}$$

c_{ijk} – стоимость ИКС k -го типа, соединяющего вход j -й ФЗ с выходом i -й ФЗ;

λ_{ijk} – интенсивность отказов ИКС k -го типа, соединяющего выход i -й ФЗ со входом j -й ФЗ.

Введем булеву переменную $x_{ijk} \in \{1, 0\}$, где $x_{ijk} = 1$, когда имеется связь между выходом i -й ФЗ и входом j -й ФЗ, и для передачи информации выбран ИКС k -го типа; $x_{ijk} = 0$ – в противном случае. Очевидно, что $\sum_k x_{ijk} = 1$, что означает, что для

информационного взаимодействия i -й и j -й ФЗ осуществлен выбор ИКС k -го типа, и в матрице INP на пересечении i -й строки и j -го столбца стоит 1.

С учетом введенной булевой переменной x_{ijk} , сформируем основные критерии для решения оптимизационной задачи.

$$1. C = \sum_i \sum_j \sum_k x_{ijk} c_{ijk} \text{ – стоимость построения ИКС.}$$

ИКС.

$$2. T = \sum_i \sum_j \sum_k x_{ijk} t_{ijk} \text{ – суммарное время пе-}$$

редачи информации для решения всех ФЗ проекта.

$$3. (\lambda t)_\Sigma = \sum_i \sum_j \sum_k x_{ijk} \lambda_{ijk} t_{ijk} \text{ – надежность ка-}$$

налов передачи информации, которые связывают исполнителей проекта.

Заметим, что учитывая возможность параллельного обмена информацией в сетевой модели выполнения проекта между отдельными ФЗ, оценки по времени обменов информацией и надежности каналов являются пессимистическими (худшими).

Рассмотрим оптимизационную задачу выбора и обоснования каналов связи:

1. Необходимо минимизировать затраты, связанные с созданием сетевой структуры ИКС для организации коммуникационных обменов участников проекта:

$$\min C,$$

с выполнением ограничений на время обмена и надежность информационных каналов передачи информации:

$$T \leq \hat{T}, (\lambda t)_\Sigma \leq (\hat{\lambda t})_\Sigma.$$

Используя введенные булевы переменные x_{ijk} , получим:

$$\min C, C = \sum_i \sum_j \sum_k x_{ijk} c_{ijk}.$$

Ограничениями являются:

$$T = \sum_i \sum_j \sum_k x_{ijk} t_{ijk}, T \leq \hat{T},$$

$$(\lambda t)_\Sigma = \sum_i \sum_j \sum_k x_{ijk} \lambda_{ijk} t_{ijk}, (\lambda t)_\Sigma \leq (\hat{\lambda t})_\Sigma.$$

2. Необходимо минимизировать суммарное время информационных обменов между исполнителями ФЗ проекта:

$$\min T,$$

с учетом ограничений на стоимость и надежность каналов передачи информации:

$$C \leq \hat{C}, (\lambda t)_\Sigma \leq (\hat{\lambda t})_\Sigma.$$

Используя введенные булевы переменные x_{ijk} , получим:

$$\min T, T = \sum_i \sum_j \sum_k x_{ijk} t_{ijk}.$$

Ограничениями являются:

$$C = \sum_i \sum_j \sum_k x_{ijk} c_{ijk}, C \leq \hat{C},$$

$$(\lambda t)_\Sigma = \sum_i \sum_j \sum_k x_{ijk} \lambda_{ijk} t_{ijk}, (\lambda t)_\Sigma \leq (\hat{\lambda t})_\Sigma.$$

3. Необходимо максимизировать надежность ИКС для организации информационных обменов между участниками инновационного проекта:

$$\min(\lambda t)_\Sigma,$$

с учетом ограничений на стоимость информационных каналов и время, затраченное на обмен информацией: $C \leq \hat{C}, T \leq \hat{T}$.

Используя введенные булевы переменные x_{ijk} , получим:

$$\min(\lambda t)_\Sigma, (\lambda t)_\Sigma = \sum_i \sum_j \sum_k x_{ijk} \lambda_{ijk} t_{ijk}.$$

Ограничениями являются:

$$C = \sum_i \sum_j \sum_k x_{ijk} c_{ijk}, C \leq \hat{C},$$

$$T = \sum_i \sum_j \sum_k x_{ijk} t_{ijk}, T \leq \hat{T}.$$

4. Многокритериальная постановка оптимизационной задачи выбора ИКС в сетевой модели выполнения инновационного проекта.

Предварительно переведем критерии и ограничения в безразмерную шкалу. Для этого воспользуемся тем, что найдены экстремальные значения всех критериев – $C^*, T^*, (\lambda t)_\Sigma^*$:

$$C' = \frac{C - C^*}{\hat{C} - C^*}, T' = \frac{T - T^*}{\hat{T} - T^*}, (\lambda t)'_\Sigma = \frac{(\lambda t)_\Sigma - (\lambda t)_\Sigma^*}{(\hat{\lambda t})_\Sigma - (\lambda t)_\Sigma^*}.$$

Заметим, что $C' = 0$ при $C = C^*, T' = 0$ при $T = T^*, (\lambda t)'_\Sigma = 0$ при $(\lambda t)_\Sigma = (\lambda t)_\Sigma^*$.

Пусть, с помощью экспертов, проведена оценка важности основных критериев для выбора ИКС обмена информацией между участниками проекта и получены значения $\alpha_C, \alpha_T, \alpha_{(\lambda t)_\Sigma}$. При этом:

$$0 \leq \alpha_C \leq 1, 0 \leq \alpha_T \leq 1, 0 \leq \alpha_{(\lambda t)_\Sigma} \leq 1, \sum_{e=1}^E \alpha_e = 1.$$

Введем комплексный критерий, который будем использовать для оптимизации и выбора ИКС в сетевой модели выполнения инновационного проекта:

$$K = \alpha_C C' + \alpha_T T' + \alpha_{(\lambda t)_\Sigma} (\lambda t)'_\Sigma.$$

Необходимо найти $\min K$, где:

$$C' = \frac{1}{\hat{C} - C^*} \sum_i \sum_j \sum_k x_{ijk} c_{ijk} - \frac{C^*}{\hat{C} - C^*};$$

$$T' = \frac{1}{\hat{T} - T^*} \sum_i \sum_j \sum_k x_{ijk} t_{ijk} - \frac{T^*}{\hat{T} - T^*};$$

$$(\lambda t)'_\Sigma = \frac{1}{(\hat{\lambda t})_\Sigma - (\lambda t)_\Sigma^*} \sum_i \sum_j \sum_k x_{ijk} \lambda_{ijk} t_{ijk} - \frac{(\lambda t)_\Sigma^*}{(\hat{\lambda t})_\Sigma - (\lambda t)_\Sigma^*},$$

с учетом ограничений по стоимости, времени и надежности каналов:

$$C \leq \hat{C}, T \leq \hat{T}, (\lambda t)_{\Sigma} \leq (\hat{\lambda} t)_{\Sigma}.$$

Используя введенные булевы переменные x_{ijk} ,

необходимо найти $\min K$:

$$K = \frac{\alpha_C}{\hat{C} - C^*} \sum_i \sum_j \sum_k x_{ijk} c_{ijk} + \frac{\alpha_T}{\hat{T} - T^*} \sum_i \sum_j \sum_k x_{ijk} t_{ijk} + \frac{\alpha_{(\lambda t)_{\Sigma}}}{(\hat{\lambda} t)_{\Sigma} - (\lambda t)_{\Sigma}^*} \sum_i \sum_j \sum_k x_{ijk} \lambda_{ijk} t_{ijk} - \alpha_C \frac{C^*}{\hat{C} - C^*} - \alpha_T \frac{T^*}{\hat{T} - T^*} - \alpha_{(\lambda t)_{\Sigma}} \frac{(\lambda t)_{\Sigma}^*}{(\hat{\lambda} t)_{\Sigma} - (\lambda t)_{\Sigma}^*}.$$

С учетом ограничений:

$$C = \sum_i \sum_j \sum_k x_{ijk} c_{ijk}, C \leq \hat{C},$$

$$T = \sum_i \sum_j \sum_k x_{ijk} t_{ijk}, T \leq \hat{T},$$

$$(\lambda t)_{\Sigma} = \sum_i \sum_j \sum_k x_{ijk} \lambda_{ijk} t_{ijk}, (\lambda t)_{\Sigma} \leq (\hat{\lambda} t)_{\Sigma}.$$

Для решения предложенных в работе оптимизационных задач, представленных с помощью метода целочисленного линейного программирования с булевыми переменными, можно воспользоваться одним из способов [7].

Заключение

Предложенный подход целесообразно использовать на начальных этапах планирования инновационного проекта, когда необходимо обосновать и выбрать структуру информационных каналов связи, которая обеспечит эффективные коммуникационные

взаимодействия участников проекта с учетом времени обмена информацией, стоимости и надежности каналов связи.

Список литературы

1. Александрова Т.В. Управление инновационными проектами: учебное пособие в 2-х частях. Издание второе, переработанное и расширенное. Часть I. Методология управления инновационными проектами / Т.В. Александрова, С.А. Голубев, О.В. Колосова и др.; под общ. ред. И.Л. Туккеля. – СПб: СПбГТУ, 1999. – 100 с.

2. Панфилова А.П. Деловая коммуникация в профессиональной деятельности / А.П. Панфилова. – М.: Знание, 2005. – 495 с.

3. Суровцева Е.А. Комплексная методика измерения организационных коммуникаций / Е.А. Суровцева // Научный журнал КубГАУ. – 2007. – №33(9). – С. 32-52.

4. Математические основы управления проектами: учебн. пособие / С.А. Баркалов, В.И. Воропаев, Г.И. Секлетова и др.; под ред. В.Н. Буркова. – М.: Высш. шк., 2005. – 423 с.

5. Федорович О.С. Методология створення розподілених ієрархічних систем управління на основі компонентного підходу / О.С. Федорович, Л.Д. Греков // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2007. – №2 (21). – С. 64-69.

6. Дубов Ю.А. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов систем / Ю.А. Дубов, С.И. Травкин, В.Н. Якимец. – М.: Наука, 1986. – 296 с.

7. Гуляницкий Л.Ф. Решение задач комбинаторной оптимизации алгоритмами ускоренного вероятностного моделирования / Л.Ф. Гуляницкий // Компьютерная математика. – К.: Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, 2004. – №1. – С. 64–72.

Поступила в редколлегию 24.03.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.Ю. Соколов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

ВИБІР ІНФОРМАЦІЙНИХ КАНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ КОМУНІКАЦІЙНИХ ВЗАЄМОДІЙ ВИКОНАВЦІВ ІННОВАЦІЙНОГО ПРОЕКТУ

О.С. Федорович, Т.М. Назаренко

Розглядаються процеси обміну інформацією в комунікаційній взаємодії виконавців інноваційного проекту. Вибір інформаційних каналів зв'язку передачі інформації, необхідної для вирішення основних функціональних завдань проекту, розглядається з урахуванням основних критеріїв і обмежень: вартість і надійність каналу, час передачі інформації. Сформульовано постановку задачі оптимізації вибору інформаційних каналів зв'язку для організації комунікаційних взаємодій виконавців проекту з використанням методу цілочисельного лінійного програмування з булевими змінними. Для вирішення багатокритеріальної задачі використовується важливість окремих критеріїв, оцінена за допомогою експертів.

Ключові слова: комунікаційна взаємодія виконавців проекту, структура інформаційних каналів зв'язку, метод цілочисельного лінійного програмування.

SELECTION OF INFORMATION CHANNELS OF COMMUNICATION FOR THE INTERACTION OF EXECUTORS OF THE INNOVATIVE PROJECT

O.Ye. Fedorovich, T.N. Nazarenko

Information interchange processes in communication interaction of executors of the innovative project are considered. The choice of communication channels for communication of information necessary to address key functional tasks of the project, is considered taking into account the main criteria and constraints: the cost and reliability of the channel, the transmission of information. Formulate the optimization problem of a choice of information communication channels for the organisation of communication interactions of executors of the project using the method of integer linear programming with Boolean variables. To solve the multiobjective problem using the importance of individual criteria, estimated by experts.

Keywords: communication interaction of executors of the innovative project, structure of information channels of communication, method of integer linear programming.