



## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ ИНЖЕНЕРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОСТИ РЕСУРСОВ

*И. Н. Темирбулатова, Л. А. Плешакова, А. В. Жирнова, М. И. Шиккульский*

**Темирбулатова Ирина Насифуллаевна**, магистрант, Астраханский государственный архитек-турно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация;

**Плешакова Людмила Александровна**, кандидат технических наук, доцент кафедры систем ав-томатизированного проектирования и моделирования, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация; e-mail: lpleshakova@rambler.ru;

**Жирнова Алина Вадимовна**, преподаватель первой квалификационной категории, Астрахан-ский государственный технический университет, г. Астрахань, Российская Федерация; e-mail: apleshakova1989@yandex.ru

**Шиккульский Михаил Игоревич**, кандидат технических наук, доцент кафедры систем автoматизированного проектирования и моделирования, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация; e-mail: shikul\_m@mail.ru

Предлагается математическая модель управления проектами инженерного обеспечения в условиях ограниченности ре-сурсов. В работе также рассматривается модель взаимодействия функциональных подразделений строительной организа-ции при распределении ресурсов. На основе разработанной математической модели предлагается создание интеллектуаль-ного программного обеспечения для распределения ресурсов в условиях их ограниченности. Управление проектами инже-нерного обеспечения осуществляется в несколько этапов, представленных с помощью модели IDEF0. Функционал програм-ного обеспечения представлен на диаграмме UseCase. Использование разработанного программного обеспечения много-кратно повышает точность распределения ресурсов, повышает прозрачность результатов выполнения строительного-монтажных работ, позволяет обмениваться информацией между участниками проекта, формировать отчетные документы с ми-нимальными затратами времени, контролировать их исполнение по проектам инженерного обеспечения.

**Ключевые слова:** инженерное обеспечение, математическая модель, информационная система, управление ресурсами проекта, объектно-ориентированное проектирование.

## MATHEMATICAL MODEL OF ENGINEERING SUPPORT PROJECT MANAGEMENT IN CONDITIONS OF LIMITED RESOURCES

*I. N. Temirbulatova, L. A. Pleshakova, A. V. Zhirnova, M. I. Shikulskiy*

**Temirbulatova Irina Nasifullayevna**, undergraduate, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russian Federation;

**Pleshakova Lyudmila Aleksandrovna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer-aided Design and Modeling, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russian Federation; e-mail: lpleshakova@rambler.ru;

**Zhirnova Alina Vadimovna**, teacher of the first qualification category, Astrakhan State Technical Univer-sity, Astrakhan, Russian Federation; e-mail: apleshakova1989@yandex.ru;

**Shikulskiy Mikhail Igorevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer-aided Design and Modeling, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russian Federation; e-mail: shikul\_m@mail.ru

A mathematical model of project management of engineering support in conditions of limited resources is proposed. The paper also considers a model of interaction of functional divisions of a construction organization in the allocation of resources in the process of managing engineering support projects. Based on the developed mathematical model, it is proposed to create intelligent software for resource allocation in conditions of their limitations. Engineering support projects are managed in several stages, represented using the IDEF0 model. The functionality of the software is presented in the Use Case diagram. The use of the developed software for the management of engineering support projects greatly increases the accuracy of resource allocation, allows the exchange of infor-mation between project participants, increases the transparency of the results of construction and installation work on the construc-tion of engineering support facilities, allows you to generate accounting documents with minimal time, allows you to monitor the execution of works on engineering support projects.

**Keywords:** engineering support, mathematical model, information system, project resource management, object-oriented design.

### Введение

Строительный комплекс Российской Федера-ции занимает одну из ключевых позиций в эконо-мике страны. В деятельности современных строи-тельных организаций информационные техноло-гии играют значительную роль, способствуя по-вышению производительности труда и улучше-нию качества принимаемых решений.

Разработано большое число программных систем, используемых в организациях на различных ста-диях строительного процесса. Они представляют собой определенные звенья договорных отноше-ний.

При анализе теоретических источников выяв-лено, что ранее были разработаны модели и ал-горитмы поддержки принятия решений по

управлению проектами с представлением знаний в виде набора онтологий. Д. П. Ануфриев, И. Ю. Петрова и О. М. Шикунская [1] предложили подход к созданию региональной информационной системы поддержки деятельности организаций, включенных в строительный кластер.

Работа Т. А. Королькова, С. А. Дерябина, И. О. Темкина, Рзазаде Ульви Азар оглы, А. А. Валова посвящена описанию разработки модели, необходимой для осуществления автоматизированного контроля деятельности работников строительного комплекса с целью повышения безопасности и эффективности производственных процессов. В статье проводится анализ существующих решений в данной области, в рамках которого обсуждаются недостатки подходов к организации мониторинга в строительстве [2].

В работе В. М. Зариповой, И. Ю. Петровой на основе изучения большого количества отечественной и зарубежной литературы показаны тренды в области сопровождения и модификации современных информационных систем [3].

Однако актуальной является задача интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений специалистами строительных организаций при управлении проектами инженерного обеспечения. Сложность этой задачи определяется многообразием компонентов и обстоятельств, влияющих на принятие управленческих решений. Взаимодействие множества факторов, таких как неточная оценка имеющихся ресурсов, ограниченность временных ресурсов, неполнота информации служит причиной снижения качества управления проектами инженерного обеспечения строительной компании.

Ввиду информационной неопределенности (так как исходные данные об объекте инженерного обеспечения могут быть ограничены) проявляется разница между планируемыми и фактическими объемами ресурсов по проекту.

В связи с вышесказанным важной является задача создания информационной системы управления проектами инженерного обеспечения строительной отрасли в условиях ограниченности ресурсов. Многопользовательская информационная система предназначена для снижения неопределенности и повышения эффективности функционирования строительных организаций.

Внедрение программного обеспечения для управления проектами инженерного обеспечения значительно изменит организацию данного процесса. Оно позволит осуществлять учет, анализ, отчетность в условиях строительной отрасли.

Крупная строительная организация может одновременно выполнять несколько проектов инженерного обеспечения, располагая единым резервуаром ресурсов. Если заранее при планировании процесса выполнения проекта учесть

ограниченность ресурсов и динамику их потребления, то можно получить более надежный план управления проектами инженерного обеспечения.

Сложные задачи учета ресурсов возникают в случае параллельной разработки нескольких проектов (мультипроектирования), руководство которыми осуществляется одной строительной организацией при использовании единого резервуара некоторых ресурсов. Стоит отметить, что в данном процессе одновременно могут принимать участие различные заинтересованные стороны, например функциональные подразделения строительной организации.

Рассмотрим модель взаимодействия функциональных подразделений строительной организации при распределении ресурсов в процессе управления инженерными проектами.

Руководитель функционального подразделения управляет проектом инженерного обеспечения. Функциональные службы осуществляют всю техническую подготовку, разрабатывают варианты решения вопросов, связанных с руководством, и доводят их до исполнителей.

Математическую модель управления в условиях ограниченности ресурсов можно представить как множество:

$$\text{In}gPr = \{ \{x_i\}, (X_1, X_2, \dots, X_n), (z_1, z_2, \dots, z_n), (r_1, r_2, \dots, r_n), R_{\max}, \sum R_{\max}, (u_1, u_2, \dots, u_n) \},$$

где  $\{x_i\}$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) – множество функциональных подразделений строительной организации;  $(X_1, X_2, \dots, X_n)$  – множество стратегий, которые выбирают функциональные подразделения строительной организации для решения задач по управлению проектами инженерного обеспечения;  $(z_1, z_2, \dots, z_n)$  – множество задач для управления;  $(r_1, r_2, \dots, r_n)$  – множество ресурсов, требуемых для решения задач;  $R_{\max}$  – выделенный ограниченный ресурс одного вида;  $\sum R_{\max}$  – общий ресурс строительной организации;  $(u_1, u_2, \dots, u_n)$  – множество информационных потоков при осуществлении бизнес-процесса управления проектами инженерного обеспечения.

Стремление к минимизации затрат на удовлетворение потребностей в ресурсах при решении задач управления проектами инженерного обеспечения и максимизации общего ресурса организации может быть выражено как  $\sum R_{\max} \geq R_{\max}$ .

Математическая модель принятия решений при распределении ресурсов при управлении проектами может быть описана следующим образом:

$$PR_{opt} = \langle Rez, M_p, D_i, N_f, g, I \rangle, \quad (1)$$

где  $Rez$  – множество исходов (результатов);  $M_p$  – модель предпочтений исходов (принимаемых решений);  $D_i$  – множество стратегий принятия решений;  $N_f$  – множество возможных значений неопределенных факторов;  $g$  – функция, определяющая взаимосвязь неопределенного фактора и исход, получаемый в результате

принятого решения; I – информация о принимаемом решении в формализованном виде (сведения о конфликте, предпочтения других лиц, участвующих в конфликте и др.).

Использование модели (1) в условиях конфликта определяется тем, что она позволяет просто и наглядно связать значения неопределенных факторов и стратегий с управлением, реализуемым интеллектуальной системой; определяются компоненты принимаемого решения и связь с данной системой через понятия критерия и показателей ее эффективности.

Рассмотрим взаимодействие функциональных подразделений, имеющих по две стратегии решения задачи:  $X_1 = \{x_1^1, x_1^2\}$ ,  $X_2 = \{x_2^1, x_2^2\}$ . Поскольку в качестве критерия оптимальности могут рассматриваться показатели качества, введем следующие обозначения:  $x_1^1$  – решить задачу с удовлетворительным качеством;  $x_1^2$  – решить задачу с высоким качеством и т. д.

Функциональным подразделениям строительной организации  $x_1$  и  $x_2$  ставятся независимые задачи  $z_1$  и  $z_2$  по управлению проектами инженерного обеспечения соответственно. Кроме того, для решения задач выделяется ограниченный ресурс (одного вида)  $R_{max}$ . Каждое функциональное подразделение анализирует возникшую ситуацию, связанную с определением стратегий решения, исходя из своих интересов и возможностей.

Информационный поток  $u_1$  обеспечивает обмен информацией по требуемым ресурсам для решения задач при различных стратегиях функциональных подразделений. В случае возникновения конфликтов подразделения вынуждены согласовывать свои стратегии поведения на основе уступок: ресурса одним из подразделений либо формирование общей заявки на требуемый ресурс  $R_{max}^1 > R_{max}$ .

В первом случае при появлении новых задач уступки одного функционального подразделения могут учитываться другим при согласовании интересов, во втором случае (при  $\sum R_{max} < R_{max}^1$ ) – увеличить  $R_{max}$  до значения  $R_{max}^1$ . При получении нового значения  $R_{max}$  различные подразделения строительной организации решают поставленные задачи, результаты которых оцениваются руководством.

Рассмотрим формальную модель согласования функциональными подразделениями стратегий поведения при управлении проектами инженерного обеспечения. Пусть  $X_1, X_2$  – множества стратегий функциональных подразделений  $x_1$  и  $x_2$  соответственно, причем  $X_1 = \{x_1^1, x_1^2, \dots\}$ ,  $X_2 = \{x_2^1, x_2^2, \dots\}$ .

На множествах стратегий заданы нечеткие функции предпочтения  $\mu_i: X_i \rightarrow [0, 1]$ .

Обозначим через  $R_1/X_1 = (r_1/x_1^1, r_1/x_1^2, \dots)$  и  $R_2/X_2 = (r_2/x_2^1, r_2/x_2^2, \dots)$  распределения

требуемых ресурсов для решения задач  $z_1$  и  $z_2$ . Введем функцию вида:

$$\varphi_i(X_1, X_2) = \frac{R_{max} - R_j/X_j}{R_i/X_i}, i \neq j.$$

Данная функция определяет относительные значения ресурсов  $i$ -го элемента в ситуации  $(X_1, X_2)$  руководства строительной организации  $j$ -го элемента при распределении ресурсов. Значения  $\varphi_i(X_1, X_2) < 1$  указывают на недостаток ресурсов в ситуации  $(X_1, X_2)$ , а значения  $\varphi_i(X_1, X_2) \geq 1$  – на достаточность либо избыток. На множествах значений  $\varphi_i(X_1, X_2)$  зададим функции  $\rho_i: \varphi_i(X_1, X_2) \rightarrow [0, 1]$ ,  $i = 1, n$  следующим образом (2):

$$\rho_i(X_1, X_2) = \begin{cases} 0, \varphi_i(X_1, X_2) = \varphi_{i,min}(X_1, X_2) \\ \frac{\varphi_i(X_1, X_2) - \varphi_{i,min}(X_1, X_2)}{\varphi_{i,1}(X_1, X_2) - \varphi_{i,min}(X_1, X_2)}, \\ 1, \varphi_i(X_1, X_2) \geq \varphi_{i,1}(X_1, X_2) \end{cases}$$

$$\varphi_{i,min}(X_1, X_2) < \varphi_i(X_1, X_2) < \varphi_{i,1}(X_1, X_2), (2)$$

где  $\varphi_{i,min}(X_1, X_2) = \min\{\varphi_i(X_1, X_2)\}$ ,  $\varphi_{i,1}(X_1, X_2) = \varphi_1(X_1, X_2) = 1$ .

Функция  $\rho_i(X_1, X_2)$  определяет относительную достаточность ресурсов  $i$ -го элемента в ситуации  $(X_1, X_2)$  для решения задачи с соответствующим качеством. Кроме того, на множествах значений  $\varphi_i(X_1, X_2)$  каждый элемент  $x_i$  задает нечеткие цели  $g_i(X_1, X_2): \varphi_i(X_1, X_2) \rightarrow [0, 1]$  [5] (3) и (4).

Определим область возможных стратегий  $D_i$  в  $X_1 \times X_2$ , каждого элемента с функциями принадлежности вида [5]:

$$g_i(X_1, X_2) = \begin{cases} 0, \varphi_i(X_1, X_2) = \varphi_{i,min}(X_1, X_2) \\ \frac{\varphi_i(X_1, X_2) - \varphi_{i,min}(X_1, X_2)}{\varphi_{i,1,max}(X_1, X_2) - \varphi_{i,min}(X_1, X_2)}, \\ 1, \varphi_i(X_1, X_2) \geq \varphi_{i,1}(X_1, X_2) \end{cases}$$

$$\varphi_{i,min}(X_1, X_2) < \varphi_i(X_1, X_2) < \varphi_{i,1,max}(X_1, X_2),$$

или

$$g_i(X_1, X_2) = \begin{cases} 0, \varphi_i(X_1, X_2) \leq \varphi_{i,2min}(X_1, X_2) \\ \frac{\varphi_i(X_1, X_2) - \varphi_{i,2min}(X_1, X_2)}{\varphi_{i,1,max}(X_1, X_2) - \varphi_{i,2min}(X_1, X_2)}, \varphi_{i,1min}(X_1, X_2) < \varphi_i(X_1, X_2) < \varphi_{i,2max}(X_1, X_2) \\ 1, \varphi_i(X_1, X_2) \geq \varphi_{i,1max}(X_1, X_2) \\ \frac{\varphi_i(X_1, X_2) - \varphi_{i,2min}(X_1, X_2)}{\varphi_{i,1,max}(X_1, X_2) - \varphi_{i,2max}(X_1, X_2)}, \varphi_{i,max}(X_1, X_2) < \varphi_i(X_1, X_2) < \varphi_{i,2min}(X_1, X_2) \\ 0, \varphi_i(X_1, X_2) \geq \varphi_{i,2min}(X_1, X_2) \end{cases} (4)$$

где  $\varphi_{i,max}(X_1, X_2)$  – наиболее предпочтительное значение ресурса,  $\varphi_{i,2max}(X_1, X_2)$  – наименее предпочтительное значение ресурса среди всех значений больших, чем  $\varphi_{i,max}(X_1, X_2)$ .

$$\mu_{D_i}(X_1, X_2) = \min\{\rho_i(X_1, X_2), g_i(X_1, X_2), \mu_i\}. (5)$$

Очевидно, не все стратегии в  $D_i$  соответствуют предпочтениям функциональных подразделений. Для отсекаемых стратегий из  $D_i$  с низкими значениями функции принадлежности  $\mu_{D_i}(X_1, X_2)$  введем число  $\lambda \in [0, 1]$  и представим множество допустимых стратегий  $D_i^*$  в  $X_1 \times X_2$  следующим образом:

$$\mu_{D_i^*}(X_1, X_2) = \begin{cases} \mu_{D_i}(X_1, X_2), \forall \mu_{D_i}(X_1, X_2) \geq \lambda \\ 0, \forall \mu_{D_i}(X_1, X_2) < \lambda \end{cases} (6)$$

Чем ближе  $\lambda$  к единице, тем меньше вариантов выбора из множества допустимых стратегий. Однако они будут характеризоваться высокими оценками с точки зрения предпочтения своих стратегий  $i$ -м элементом. Для того чтобы

учесть при выборе стратегии других функциональных подразделений, введем множество равновесных стратегий  $K_i(X_1, X_2)$  с функцией принадлежности:

$$\beta_i(X_1, X_2) = \min_{x_1 \times x_2} (\mu_{D_i^+}(X_1, X_2), \mu_{D_i^-}(X_1, X_2)), i \neq j. (7)$$

Среди множества равновесных стратегий можно определить лучшую из них как  $\beta_{\max}(X_1, X_2) = \max\{\beta_i(X_1, X_2)\}$ . В результате имеем набор оптимальных интересов каждого функционального подразделения ситуаций  $(x_1^i, x_2^i)$ ,  $(x_1^p, x_2^p)$ , причем  $x_1^i, x_1^p \in X_1$ , а  $(x_2^k, x_2^r) \in X_2$ .

Описанные математические модели служат основой для проектирования интегрированной информационно-аналитической системы управления сложными проектами инженерного обеспечения на всех стадиях его осуществления.

С целью реализации предложенной математической модели распределения ресурсов была спроектирована информационная система для поддержки данной деятельности. Бизнес-процесс управления проектами можно представить в виде функциональной модели IDEF0 (рис. 1). Использование данной модели для анализа всего комплекса задач позволяет выявить их полный перечень, который необходим для успешной реализации.

Входами на диаграмме являются параметры проекта, необходимые для определения задач; методы согласования стратегий распределения ресурсов по проектам, которые используются для определения оптимальной из них; ресурсы проекта инженерного обеспечения необходимы как для строительства внутренних инженерных систем зданий и сооружений, так и наружных инженерных сетей – комплексная подготовка территорий.

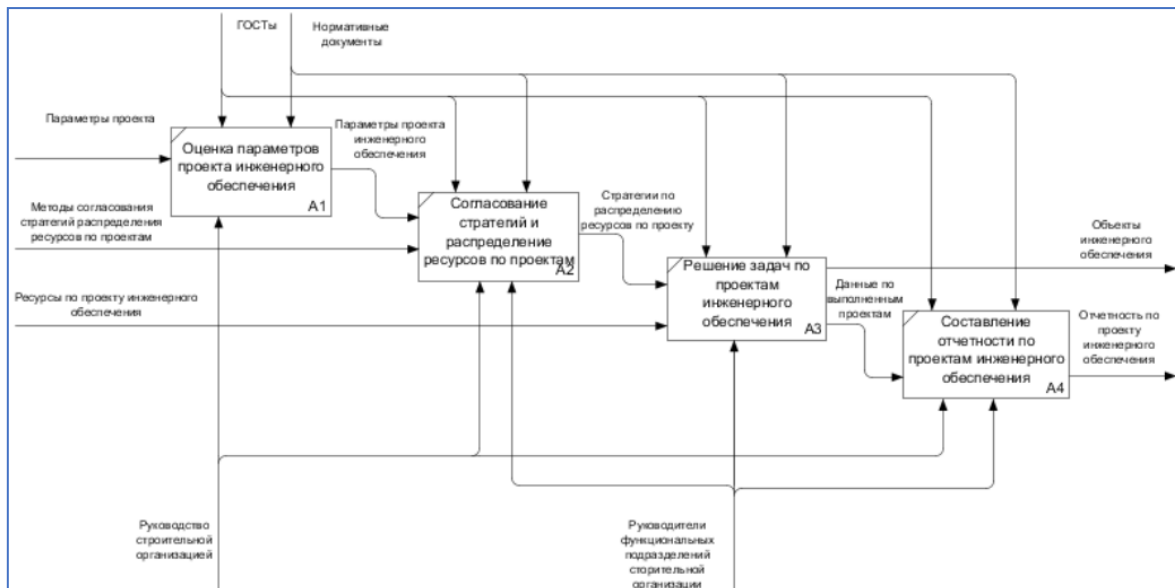


Рис. 1. Диаграмма управления проектами инженерного обеспечения в нотации IDEF0

Выходы – объект инженерного обеспечения, который представляет собой комплекс мероприятий по обеспечению строительного объекта системами жизнеобеспечения, мониторинга, управления: водоснабжением; водоотведением; газоснабжением; связью и т. п. [6]; отчетность по проекту инженерного обеспечения – необходима для составления аналитики выполненных видов работ по проекту, а также использованным ресурсам.

Деятельность по управлению проектами инженерного обеспечения регламентируется ГОСТами и нормативными документами строительной организации. Основные функции процесса: оценка параметров проекта инженерного обеспечения, согласование стратегий и распределение ресурсов по проектам, выполнение работ, составление отчетности.

Для реализации информационной системы была выбрана платформа «1С:Предприятие 8.3», предлагающая мощный предметно-

ориентированный язык проектирования, который позволяет быстро и качественно создавать современные информационные системы. Использование данной платформы позволяет сосредоточиться на решении содержательных вопросов, уменьшая время, требуемое на программирование при использовании языков более низкого уровня. Конфигуратор, входящий в стандартную поставку, позволяет развивать существующие и создавать новые прикладные решения: визуальные средства разработки и конструкторы; универсальные механизмы хранения и обработки многомерных данных; встроенный язык для определения поведения объектов системы; мощный механизм запросов; удобные средства отладки и анализа производительности работы конфигурации.

Функции и пользователи информационной системы представлены на диаграмме UseCase (рис. 2).

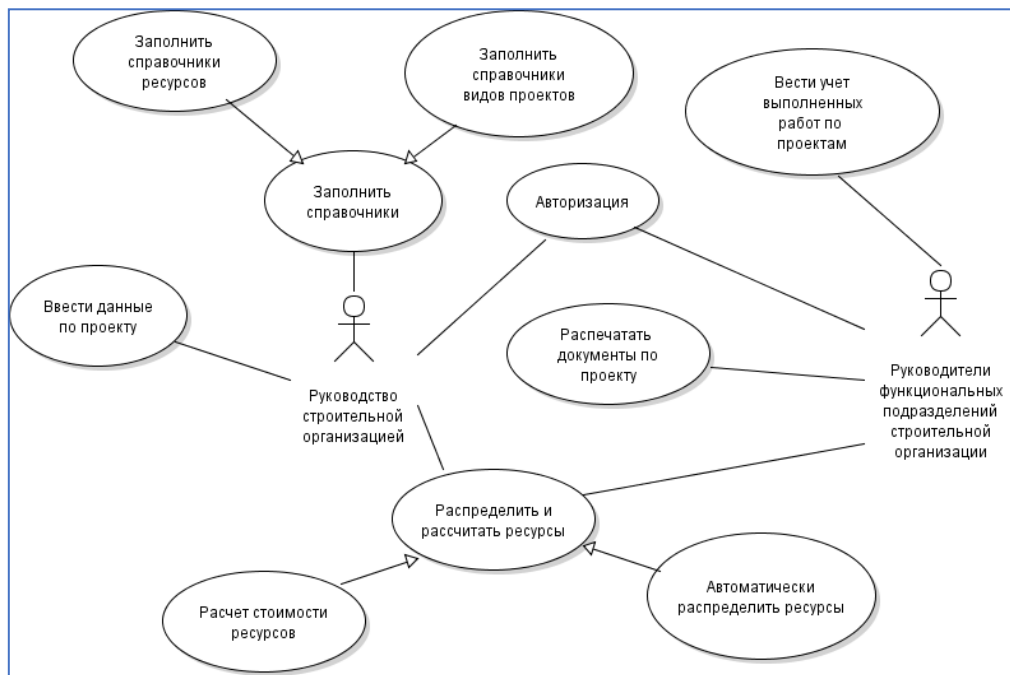


Рис. 2. Диаграмма Use Case информационной системы

Функции системы: заполнение справочников по ресурсам проекта и видам инженерного обеспечения; автоматическое распределение ресурсов и расчет их стоимости; печать документов; ведение учета работ.

Использование информационной системы позволит оптимизировать распределение ресурсов по проекту инженерного обеспечения; упростить работу лица, принимающего данное решение.

### Заключение

Рассмотренный подход к распределению ресурсов может быть использован при разработке интеллектуальных информационных технологий поддержки принятия решений при управлении проектами инженерного обеспечения. Применение аппарата нечетких множеств для описания нечетких целей позволяет определить оптимальную стратегию при распределении ресурсов между множеством проектов инженерного обеспечения.

### Список литературы

1. Anufriev D. Model of decision-making support in heterarchical system management of regional construction cluster / D. Anufriev, I. Y. Petrova, O. Shikulskaya // Communications in Computer and Information Science [Creativity in Intelligent Technologies and Data Science. CIT&DS 2017]. – 2017. – Vol. 754. – P. 317–330. – DOI 10.1007/978-3-319-65551-2\_23.
2. Муканов Р. В. Использование автоматизированных средств проектирования при реконструкции и модернизации тепловых сетей / Р. В. Муканов, А. В. Мельникова, О. Р. Муканова, И. М. Трещева // Перспективы развития строительного комплекса. – 2017. – № 1. – С. 43–46.
3. Корольков Т. А. Построение модели идентификации деятельности работников строительного комплекса / Т. А. Корольков, С. А. Дерябин, И. О. Темкин, РзазадеУльви Азар оглы, А. А. Валова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2022. – № 2 (40).
4. Зарипова В. М. Унаследованные информационные системы. Проблемы и решения / В. М. Зарипова, И. Ю. Петрова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2022. – № 2 (40).
5. Астанин С. В. Конфликтно-игровой подход к распределению ресурсов в организационной системе / С. В. Астанин, Н. К. Жуковская // Прикладная информатика. – 2011. – № 4 (34). – С. 125–132.
6. Проектирование инженерного обеспечения // ООО «Регион». – Режим доступа: <https://dc-region.ru/proektirovanie-inzhenerного-obespec>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

© И. Н. Темирбулатова, Л. А. Плешакова, А. В. Жирнова, М. И. Шиккульский

### Ссылка для цитирования:

Темирбулатова И. Н., Плешакова Л. А., Жирнова А. В., Шиккульский М. И. Математическая модель управления проектами инженерного обеспечения в условиях ограниченности ресурсов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2022. № 4 (40). С. 114–118.