

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СЕТИ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ШКОЛ

В. Г. Мокрозуб, С. А. Рачкова, Ф. И. Вшивков

*Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»,
mokrozubv@yandex.ru; ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия*

Ключевые слова: место строительства; общеобразовательные школы; оптимизация; системный анализ; функциональная диаграмма.

Аннотация: Дано описание элементов проекта автоматизированной системы поддержки принятия решений при проектировании сети общеобразовательных школ: функциональной диаграммы, функционального представления, задачи оптимизации сети общеобразовательных школ по критерию их суммарной стоимости. Функциональная диаграмма представлена в формате IDEF0 и содержит описание всех информационных потоков. В функциональном представлении определены информационные модели, необходимые для выполнения функциональных блоков IDEF0. В задаче оптимизации дано описание исходных данных, результатов решения и ограничений, задаваемых нормативными документами на осуществление образовательной деятельности в РФ.

Введение

Городские территории находятся в постоянном развитии, связанном с миграцией населения, строительством и реконструкцией жилых домов, производственных объектов и объектов социальной инфраструктуры. Так, например, в северной части города Тамбова, где на сегодняшний день ведется активное жилищное строительство, значительно меняется численность населения. В ближайшие три года население Тамбова, с учетом построенных и введенных в эксплуатацию жилых домов, увеличится на 52 000 человек, из них более 6 500 человек – дети школьного возраста. В соответствии со стратегией социально-экономического развития Тамбовской области до 2035 года планируется построить 29 новых школ и отремонтировать 220 существующих [1]. На данные цели выделяются значительные денежные средства, правильное распределение которых в современных условиях невозможно без применения автоматизированных систем поддержки принятия решений (АСППР).

Вопросам принятия решений при проектировании и строительстве объектов социального назначения, в том числе и общеобразовательных школ, посвящено достаточно много публикаций. Так, в работе [2] систематизированы основные проблемы, с которыми сталкивается застройщик и государство при строительстве объектов социальной инфраструктуры, приведен примерный перечень мер, которые могут улучшить сложившуюся ситуацию. Автор [3] рассматривает соотношение понятий «устойчивый город» и «умный город». В работе [4] представлена перспектива нарастания дефицита учебных мест в системе общего образования Российской Федерации в период 2014 – 2025 гг. Многокритериальная оптимиза-

ционная модель устойчивого развития большого города представлена в работе [5]. Методы проектирования социальной инфраструктуры на развивающихся территориях на основе гравитационного моделирования рассмотрены в [6]. В работе [7] дано описание моделирования для принятия решений при градостроительном проектировании на примере оптимизации сети муниципальных образовательных учреждений.

Несмотря на наличие большого числа публикаций, посвященных строительству общеобразовательных школ, системные исследования автоматизации поддержки принятия решений в школьном строительстве представлены недостаточно.

Цель работы – разработка в соответствии с методологией [8, 9] следующих элементов АСППР:

- функциональной диаграммы IDEF0 процессов, для которых создается АСППР;
- функционального представления процессов, для которых создается АСППР;
- постановка задачи оптимизации сети общеобразовательных школ.

Функциональная диаграмма IDEF0 процессов проектирования и строительства сети школ

Основными процессами проектирования и строительства сети школ являются (рис. 1):

- анализ обеспеченности школьными местами и принятия решения о строительстве школ;
- оптимизация сети подлежащих строительству школ;
- разработка проектно-сметной документации;
- строительство сети школ.

Основные информационные потоки:

$I_0 - I_4$ – входная и выходная информация;

I_0 – существующие школы и их загруженность;

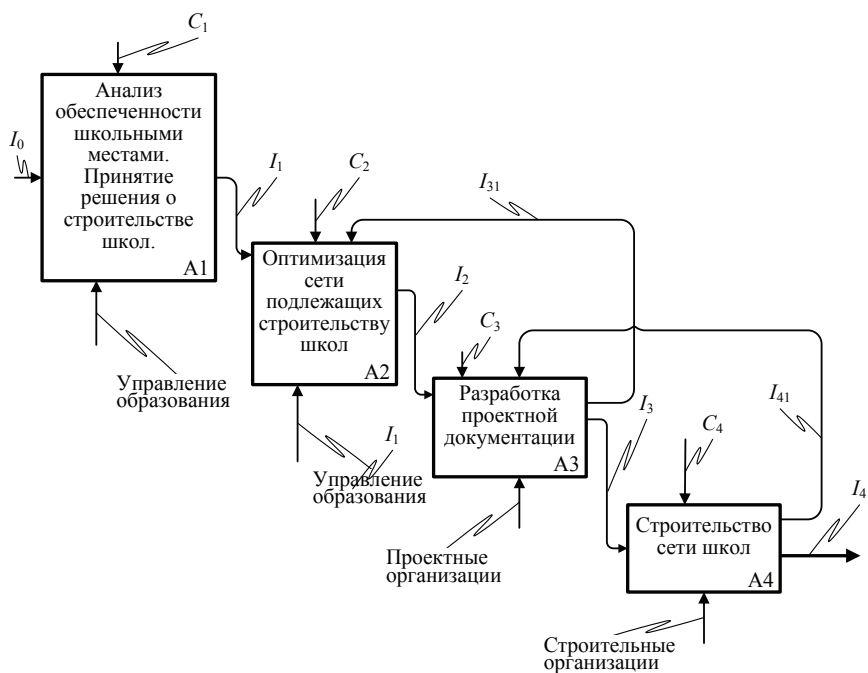


Рис 1. Функциональная диаграмма процесса проектирования и строительства сети общеобразовательных школ

- I_1 – потребность в школьных местах;
 I_2 – координаты школ, число мест в каждой из них, предварительная стоимость каждой школы;
 I_3 – проектная документация, сметная стоимость каждой школы;
 I_4 – сеть построенных школ;
 I_{31}, I_{41} – обратные связи.
 $C_1 - C_4$ – управляющая информация:
 C_1 – нормативы обеспеченности школьными местами, численность и распределение школьников, существующая обеспеченность школьными местами;
 C_2 – нормативы обеспеченности школьными местами, план территории, плотность населения;
 C_3 – нормативы по проектированию школ;
 C_4 – нормативы строительства школ.

Функциональное представление процессов проектирования и строительства сети школ

Функциональное представление FM , предназначенное для преобразования информационного потока I_0 в информационный поток I_4 с использованием информационных моделей IM , представим в виде:

$$FM : I_0 \xrightarrow{IM} I_4, FM = \langle F_1, F_2, F_3, F_4 \rangle, IM = \langle IM_1, IM_2, IM_3, IM_4 \rangle;$$

$$F_1 : I_0 \cup C_1 \xrightarrow{IM_1} I_1, F_2 : I_1 \cup C_2 \cup I_{31} \xrightarrow{IM_2} I_2;$$

$$F_3 : I_2 \cup C_3 \cup I_{41} \xrightarrow{IM_3} I_1 \cup I_{31}, F_4 : I_3 \cup C_4 \xrightarrow{IM_4} I_4 \cup I_{41},$$

где F_1, IM_1 – функциональное представление и информационная модель принятия решения о строительстве школы соответственно; F_2, IM_2 – функциональное представление и информационная модель оптимизации сети школ соответственно; F_3, IM_3 – функциональное представление и информационная модель разработки проектной документации соответственно; F_4, IM_4 – функциональное представление и информационная модель строительства школ соответственно.

Постановка задачи оптимизации сети общеобразовательных школ

Задача оптимизации сети общеобразовательных школ заключается в следующем. Для заданной городской территории, в которой проживает известное число учащихся, найти число школ, мощность каждой из них, место строительства и районы, обслуживаемые каждой школой, которые составляют минимум суммарной стоимости школ и позволяют проводить образовательный процесс в соответствии с существующими нормативными документами.

Обозначим:

$T = \langle D, SDD, PD \rangle$ – заданная городская территория (множество точек земной поверхности, ограниченное замкнутой кривой);

$D = \{d_j, j = \overline{1, J}\}$ – множество домов, находящихся на территории, d_j – j -й дом, J – число домов;

$SDD = \{sdd_j, j = \overline{1, J}\}$ – координаты домов, sdd_j – координаты j -го дома;

$PD = \{pd_j, j = \overline{1, J}\}$ – число учащихся, проживающих в домах, pd_j – число учащихся, проживающих в j -м доме;

N – число школ, $1 \leq N < N_{\max}$, N_{\max} – максимальное число школ;

$R = \{r_n, n = \overline{1, N}\}$ – множество районов, обслуживаемых школами, r_n – район, обслуживаемый n -й школой, $T = \bigcup_{n=1}^N r_n, \bigcap_{n=1}^N r_n = \emptyset$;

$M = \{m_n, n = \overline{1, N}\}$ – мощности школ, m_n – мощность n -й школы;

$m_n \leq m1_n + m2_n, m2_n$ – число учащихся, обучающихся во вторую смену в n -й школе, $m1_n \geq 0, m2_n \geq 0, m2_n/P_n \leq KM$, KM – нормативный коэффициент;

$S = \{s_n, n = \overline{1, N}\}$ – стоимости школ, s_n – стоимость строительства и обслуживания n -й школы, $SO = \sum_{i=1}^N s_i$ – суммарная стоимость строительства и обслуживания школ;

$SD = \{sd_n, n = \overline{1, N}\}$ – места строительства школ (координаты), sd_n – место строительства n -й школы; $SD \in T$;

DN_n – дома, обслуживаемые n -й школой, $DN_n \in D, DN_n = \{dn_n^i, i = \overline{1, I_n}\}$, dn_n^i – i -й дом, обслуживаемый n -й школой, I_n – число домов, обслуживаемых n -й школой; $p_n^i \in PD$ – число учащихся, проживающих в доме dn_n^i ; $sdn_n^i \in SDD$ – местоположение дома dn_n^i ;

P_n – число учащихся, обслуживаемых n -й школой, $P_n = \sum_i^{I_n} p_n^i, p_n^i$ – число учащихся, проживающих в доме dn_n^i , $P_n = m1_n + m2_n$; $PO = \sum_{n=1}^N P_n$ – общее число учащихся, проживающих на заданной территории;

rs_n^i – расстояние от i -го дома до n -й школы, обслуживающей дом, $rs_n^i \leq rs \max_p, rs \max_p$; $rs_n^i \leq rs \max_a, rs \max_a$ – максимальные допустимые расстояния от дома до школы, если учащиеся идут пешком или едут на автобусе соответственно.

С учетом введенных ограничений формальная постановка задачи строительства сети общеобразовательных школ выглядит следующим образом.

Для заданной территории $T = \langle D, SDD, PD \rangle$ найти такое число школ N^* , мощность каждой школы $M^* = \{m_n^*, n = \overline{1, N^*}\}$, районы обслуживаемые каждой школой $R^* = \{r_n^*, n = \overline{1, N^*}\}$ и место строительства школ $SD^* = \{sd_n^*, n = \overline{1, N^*}\}$, для которых суммарная стоимость SO строительства и обслуживания школ будет минимальна:

$$SO(N^*, R^*, M^*, SD^*) \xrightarrow{N, R, M, SD} \min(SO),$$

при ограничениях:

$$1 \leq N < N_{\max};$$

$$SO = \sum_{n=1}^N s_n;$$

$$s_n = s(m_n, sd_n, r_n);$$

$$PO = \sum_{n=1}^N P_n;$$

$$m_n \leq m1_n + m2_n;$$

$$T = \bigcup_{n=1}^N r_n, \bigcap_{n=1}^N r_n = \emptyset;$$

$$m2_n / P_n \leq KM;$$

$$rs_n^i \leq rs \max_p \text{ или } rs_n^i \leq rs \max_a;$$

$$rs_n^i = rs(sd_n, sdd_n^i).$$

Перечисленные выше ограничения в задаче оптимизации представляют собой информационную модель IM_2 .

Заключение

Составлены функциональная диаграмма и функциональное представление процесса проектирования сети общеобразовательных школ. Поставлена задача оптимизации сети общеобразовательных школ по критерию суммарной стоимости школ. Исходные данные для задачи – территория, на которой необходимо построить сеть школ, координаты домов на этой территории и число детей школьного возраста в каждом доме. Искомые параметры – число школ, мощность каждой школы, дома, которые обслуживает школа.

Представленное описание предназначено для разработки АСППР при проектировании и строительстве школ. Дальнейшее развитие работы заключается в разработке алгоритмов решения задачи оптимизации и способов представления исходных данных в информационной системе.

Список литературы

1. О Стратегии социально-экономического развития Тамбовской области до 2035 года : Закон Тамбовской области от 30 мая 2018 года. – Текст : электронный // Администрация Тамбовской области. – URL : <https://www.tambov.gov.ru/assets/files/strategy/bc9bb531-f06a-4e4e-92ac-f39f924f8bfb.pdf> (дата обращения: 23.08.2020).
2. Особенности развития и строительства объектов социальной инфраструктуры. – Текст : электронный / В. Е. Морозов, А. В. Крапива, К. С. Петров [и др.] // Инженерный вестник Дона : электрон. науч. журнал. – 2020. – № 1 (61). – 6 с. – URL : https://elibrary.ru/download/elibrary_42691518_62419564.pdf (дата обращения: 23.08.2020).

3. Гунзенова, К. В. Концепция развития «устойчивого умного города». – Текст : электронный / К. В. Гунзенова // Вектор экономики : электронный научный журнал. – 2019. – № 2 (32). – 7 с. – URL : https://elibrary.ru/download/elibrary_37073905_57615792.pdf (дата обращения: 23.08.2020).

4. Башев, В. В. Оценка потребности в дополнительных учебных местах в системе общего образования РФ в 2014–2025 гг. / В. В. Башев, Д. К. Дехант, В. Р. Лозинг // Вопросы образования. – 2015. – № 4. – С. 254 – 273. doi: 10.17323/1814-9545-2015-4-254-273

5. Андреев, В. А. Многокритериальная оптимизационная модель устойчивого развития большого города при заданных вариантах кредитной политики / В. А. Андреев, Е. А. Платонова // Проблемы преобразования и регулирования региональных социально-экономических систем / Под ред. С. В. Кузнецова. – СПб. : ГУАП, 2019. – С. 4 – 10.

6. Федоров, А. П. Методы проектирования социальной инфраструктуры на развивающихся территориях на основе гравитационного моделирования / А. П. Федоров, О. Н. Колбина // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. – 2020. – № 1 (37). – С. 217 – 221.

7. Головин, А. В. Моделирование для принятия решений при градостроительном проектировании на примере оптимизации сети муниципальных образовательных учреждений / А. В. Головин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Урбанистика. – 2013. – № 2 (10). – С. 6 – 32.

8. Мокрозуб, В. Г. Системный анализ процессов принятия решений при разработке технологического оборудования / В. Г. Мокрозуб, Е. Н. Малыгин, С. В. Карпушкин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2017. – Т. 23, № 3. – С. 364 – 373. doi: 10.17277/vestnik.2017.03.pp.364-373

9. Мокрозуб, В. Г. Постановка задачи разработки математического и информационного обеспечения процесса проектирования многоассортиментных химических производств / В. Г. Мокрозуб, Е. Н. Малыгин, С. В. Карпушкин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2017. – Т. 23, № 2. – С. 252 – 264. doi: 10.17277/vestnik.2017.02.pp.252-264

System Analysis of Decision Support in the Design of a Secondary School Network

V. G. Mokrozub, S. A. Rachkova, F. I. Vshivkov

*Department of Computer-Integrated Systems in Mechanical Engineering,
mokrozubv@yandex.ru; TSTU, Tambov, Russia*

Keywords: construction site; general education schools; optimization; system analysis; functional diagram.

Abstract: The article describes the elements of the project of an automated decision support system in the design of a network of secondary schools: a functional diagram, a functional presentation, the problem of optimizing a network of secondary schools by the criterion of their total cost. The functional diagram is presented in IDEF0 format and contains a description of all information flows. The functional view defines the information models required to execute IDEF0 functional blocks. The optimization problem describes the initial data, solution results and restrictions set by regulatory documents for the implementation of educational activities in the Russian Federation.

References

1. <https://www.tambov.gov.ru/assets/files/strategy/bc9bb531-f06a-4e4e-92ac-f39f924f8bfb.pdf> (accessed 23 August 2020).
2. https://elibrary.ru/download/elibrary_42691518_62419564.pdf (accessed 23 August 2020).
3. https://elibrary.ru/download/elibrary_37073905_57615792.pdf (accessed 23 August 2020).
4. Bashev V.V., Dekhant D.K., Lozing V.R. [Assessment of the need for additional training places in the general education system of the Russian Federation in 2014–2025], *Voprosy obrazovaniya* [Education Issues], 2015, no. 4, pp. 254-273, doi: 10.17323/1814-9545-2015-4-254-273 (In Russ., abstract in Eng.)
5. Andreyev V.A., Platonova Ye.A., Kuznetsov S.V. [Ed.] *Problemy preobrazovaniya i regulirovaniya regional'nykh sotsial'no-ekonomicheskikh sistem* [Problems of transformation and regulation of regional socio-economic systems], St. Petersburg: GUAP, 2019, pp. 4-10. (In Russ.)
6. Fedorov A.P., Kolbina O.N. [Methods of designing social infrastructure in developing territories based on gravity modeling], *Informatsionnyye tekhnologii i sistemy: upravleniye, ekonomika, transport, pravo* [Information technologies and systems: management, economics, transport, law], 2020, no. 1 (37), pp. 217-221. (In Russ., abstract in Eng.)
7. Golovin A.V. [Modeling for decision making in urban planning by the example of optimization of a network of municipal educational institutions], *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Urbanistika* [Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Urban studies], 2013, no. 2 (10), pp. 6-32. (In Russ., abstract in Eng.)
8. Mokrozub V.G., Malygin Ye.N., Karpushkin S.V. [System analysis of decision-making processes in the development of technological equipment], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2017, vol. 23, no. 3, pp. 364-373, doi: 10.17277/vestnik.2017.03.pp.364-373 (In Russ., abstract in Eng.)
9. Mokrozub V.G., Malygin Ye.N., Karpushkin S.V. [Statement of the problem of development of mathematical and information support for the design process of multi-assortment chemical production], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2017, vol. 23, no. 2, pp. 252-264, doi: 10.17277/vestnik.2017.02.pp.252-264 (In Russ., abstract in Eng.)

Systemanalyse der Entscheidungsunterstützung bei der Gestaltung des Netzes der allgemeinbildenden Schulen

Zusammenfassung: Es ist die Beschreibung der Projektelemente eines automatisierten Entscheidungsunterstützungssystems beim Entwurf eines Netzwerks von allgemeinbildenden Schulen gegeben: ein Funktionsdiagramm, eine Funktionsdarstellung, Aufgaben der Optimierung des Netzes allgemeinbildender Schulen nach dem Kriterium ihrer Gesamtkosten. Das Funktionsdiagramm ist im IDEF0-Format dargestellt und enthält die Beschreibung aller Informationsflüsse. In der Funktionsansicht sind die für die Ausführung von IDEF0-Funktionsblöcken erforderlichen Informationsmodelle bestimmt. Das Optimierungsproblem beschreibt die Anfangsdaten, die Ergebnisse der Lösung und die Einschränkungen, die in den normativen Dokumenten für die Durchführung von Bildungsaktivitäten in der Russischen Föderation festgelegt sind.

Analyse systémique de l'aide à la prise des décisions lors de la conception d'un réseau d'écoles d'enseignement secondaire

Résumé: Est donnée la description des éléments du projet du système automatisé d'aide à la prise des décisions lors de la conception d'un réseau d'écoles secondaires: diagramme fonctionnel, représentation fonctionnelle, tâches d'optimisation du réseau des écoles en fonction de leur coût total. Le diagramme fonctionnel est présenté en format IDEF0 et décrit tous les flux d'informations. Dans la représentation fonctionnelle sont définis les modèles d'information nécessaires à l'exécution des blocs fonctionnels IDEF0. Dans la tâches d'optimisation du réseau d'optimisation sont décrites les données initiales, les résultats de la décision et les limites définies par les documents réglementaires pour la mise en œuvre des activités éducatives dans la Fédération de la Russie.

Авторы: **Мокрозуб Владимир Григорьевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»; **Рачкова Светлана Анатольевна** – магистрант; **Вшивков Федор Иванович** – магистрант, ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

Рецензент: **Литовка Юрий Владимирович** – доктор технических наук, профессор кафедры «Системы автоматизированной поддержки принятия решений», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.