

ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА РИСКА НАРУШЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОРОДА ВСЛЕДСТВИЕ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

© 2021 В. А. Чертов, А. В. Падалко

Воронежский государственный технический университет (Воронеж, Россия)

Описывается алгоритм экспресс-оценки риска нарушения транспортной инфраструктуры города вследствие производства строительных работ. Для формализации процесса используется теория графов и стандартная процедура поиска критического сечения на графе. Алгоритм может найти применение на этапах планирования и организации строительных работ.

Ключевые слова: транспорт, строительство, риск, алгоритм.

Введение. Объектом рассмотрения в статье являются виды строительных работ, производство которых может в существенно отрицательной мере повлиять на городскую транспортную инфраструктуру. К числу таких работ, прежде всего, относятся: строительство и ремонт путепроводов; расширение и укрепление мостовых сооружений (виадуков); прокладка новых и расширение существующих газопроводов и канализационных магистралей; строительство крупных дорожных развязок. Помимо этого на пропускную способность городской транспортной инфраструктуры оказывают влияния строительные работы, связанные с возведением в черте города таких крупномасштабных объектов как спортивные, торгово-развлекательные и культурные комплексы [1-3].

В настоящее время эта проблема приобретает особую значимость, что обусловлено, с одной стороны, тем, что за последние 20 лет уровень автомобилизации населения увеличился более чем в два раза и составляет около 350 машин на 1 тыс. жителей. С другой стороны, производство указанных выше работ является настоятельной необходимостью, обусловленной как ростом численности населения городов, так и старением ранее построенных сооружений.

Очевидно, что оптимизация городской транспортной инфраструктуры представляет собой многоаспектную проблему, решению которой посвящен ряд работ [4-6]. Предметом рассмотрения в статье является только одна из ее составляющих, а именно пробле-

ма оценки риска нарушения транспортной инфраструктуры города вследствие производства строительных работ, пока не найдено своего исчерпывающего решения.

Теоретические положения. Для оценки риска нарушения транспортной инфраструктуры города вследствие производства строительных работ R используется следующая формула:

$$R = \begin{cases} \Delta P \leq \Delta P_{dop} - \text{нулевой}; \\ \Delta P_{dop} < \Delta P_{max} \leq \Delta P_{kr} - \text{допустимый}; \\ \Delta P_{max} > \Delta P_{kr} - \text{критический}, \end{cases} \quad (1)$$

где $\Delta P = \left(1 - \frac{P}{P_0}\right) 100\%$; P_0 – пропускная способность городской транспортной сети до начала производства строительных работ; P – пропускная способность городской транспортной сети после начала производства работ; $\Delta P_{dop}, \Delta P_{kr}$ – уровни допустимого и критического снижения пропускной способности городской транспортной сети (нормативные данные).

Для формализованного описания городской транспортной сети до производства строительных работ и после начала их производства вводятся две графа G_0 и G соответственно. В этих графах множество вершин интерпретируется как множество перекрестков разного вида, а множество дуг – как множество магистралей между перекрестками.

Каждой дуге графа (p, q) ставится в соответствие некоторая величина $r(p, q) \geq 0$, которая характеризует пропускную способность соответствующей магистрали (трассы), и измеряемую, например, количеством транспортных средств, которые могут за определенное время проехать от одного перекрестка до другого.

Чертов Вячеслав Алексеевич – Воронежский государственный технический университет, канд. техн. наук, доцент, cva.57@yandex.ru.

Падалко Александр Васильевич – Воронежский государственный технический университет, аспирант.

При таком представлении городской транспортной сети для оценки величин P_0 и P используется теорема Форда-Фалькерсона, в соответствии с которой максимальная пропускная способность сети между произвольной парой вершин p и q определяется минимальным по пропускной способности сечением $S_{min}\{p,q\}$, разделяющим вершины p и q графа $G(G_0)$, удаление которых из множества дуг разрывает все пути между ними [7]. При этом пропускная способность оценивается по каждому направлению $k(k = \overline{1, K})$, начало которого соответствует вершине p , а конец вершине q .

$$P_0(k) = \min_{S_{min}\{p,q\}} \sum_{(p,q) \in K} r(p,q);$$

$$P(k) = \min_{S_{min}\{p,q\}} \sum_{(p,q) \in K} r(p,q). \quad (2)$$

$$P_0 = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K P_0(k);$$

$$P = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K P(k). \quad (3)$$

Для нахождения $S_{min}\{p,q\}$ и аналогично $S_{min}\{p,q\}$ используется стандартная программа поиска критического сечения на графе [8], суть которой сводится к поиску всех ациклических путей на графе $G(G_0)$ с последующим определением среди них пути с минимальной пропускной способностью методом поиска в глубину.

Структура алгоритма. Разработанный с учетом приведенных выше теоретических положений, алгоритм экспресс-оценки риска нарушения транспортной инфраструктуры города вследствие производства строительных работ, представлен на рисунке 1.

В соответствии с этим алгоритмом расчеты проводятся пошагово.

Шаг 1. Подготовка исходных данных, необходимых для проведения расчетов. Указываются конкретные направления транспортной инфраструктуры K , на которых будут оцениваться пропускные способности.

Шаг 2. Построение графов, отображающих городскую транспортную инфраструктуру до и после начала производства строительных работ $G(G_0)$. Выбор и нумерация путей $k(k = \overline{1, K})$.

Шаг 3. Нахождение критических путей $S_{min}\{p,q\}$ на графах $G(G_0)$. Операция повторяется K раз.

Шаг 4. Оценка пропускных способностей направлений $P_0(k)$, $P(k)$ по формулам (2) и их средних значений P_0 , P по формулам (3).

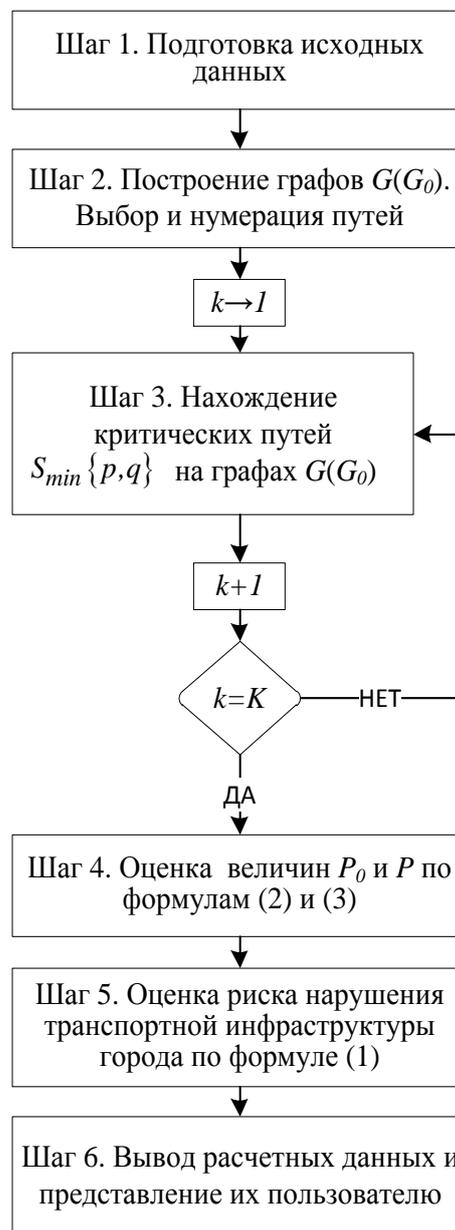


Рисунок 1. Алгоритм экспресс-оценки риска нарушения транспортной инфраструктуры города вследствие производства строительных работ

Шаг 5. Оценка риска нарушения транспортной инфраструктуры города по формуле (1).

Шаг 6. Вывод расчетных данных и представление их пользователю.

Вид выходного интерфейса алгоритма представлен на рисунке 2.



Показатель	До производства работ	После производства работ
Средняя пропускная способность основных направлений (ед./час)	2500	1500
Риск нарушения транспортной инфраструктуры (%)	40	

Рисунок 2. Выходной интерфейс алгоритма экспресс-оценки риска нарушения транспортной инфраструктуры города вследствие производства строительных работ

Реализация алгоритма. Программно алгоритм исполнен в интегрированной среде TURBO PASCAL с применением процедур и функций VISUAL BASIC и C++, ориентированных на создание приложений под управлением Windows 10: тип – интерактивный, информационно-расчетный; требования к компьютеру – процессор 2,8ГГц, 512 MB RAM, CD ROM, ОС Windows 10 32-bit SP1, Office 2010, Access 2010; количество программных блоков – 160 с объемом – 840 MB; форма отображения данных – текстовая, табличная; тип базы данных – реляционная на основе Access 2010; сервисы – защита от несанкционированного доступа, обучение пользователя, подключение к локальной сети.

Заключение. Разработанный алгоритм позволяет дать ориентировочную (приблизительную) оценку риска нарушения транспортной инфраструктуры города вследствие

производства строительных работ. При его разработке используется теория графов и стандартная процедура поиска критического сечения на графе. Алгоритм может найти применение на этапах планирования и организации строительных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 N 190-ФЗ (ред. от 02.08.2019) (с изм. и доп., вступ. в силу с 13.08.2019).

2. Федеральный закон РФ от 26.07.2017 года №187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» // СЗ РФ, 31.07.2017, N 31 (Ч I), ст. 4736.

3. Федеральный закон от 09.02.2007 N 16-ФЗ (ред. от 02.12.2019) «О транспортной безопасности».

4. Алексеев Ю. В. Надземные автомагистрали над железной дорогой. Развитие и реконструкция социально-транспортной инфраструктуры мегаполиса / Ю. В. Алексеев. – М.: Ассоциация строительных вузов (АСВ), 2016. – 113 с.

5. Белый О. В. Архитектура и методология транспортных систем / О. В. Белый, О. Г. Кокаев, С. А. Попов. – М.: Элмор, 2018. – 256 с.

6. Солодкий А. И. Транспортная инфраструктура: учебник и практикум для академического бакалавриата / А. И. Солодкий, А. Э. Горев, Э. Д. Бондарева; под ред. А. И. Солодкого. – М.: Юрайт, 2016. – 290 с.

7. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход. Пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 432 с.

8. Электронный ресурс: [https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Алгоритм Форда-Фалкерсона, реализация_с_помощью_поиска_в_глубину](https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Алгоритм_Форда-Фалкерсона_реализация_с_помощью_поиска_в_глубину).

RAPID ASSESSMENT OF THE RISK OF DISRUPTION OF THE CITY'S TRANSPORT INFRASTRUCTURE DUE TO CONSTRUCTION WORK

© 2021 V. A. Chertov, A. V. Padalko

Voronezh State Technical University (Voronezh, Russia)

An algorithm for rapid assessment of the risk of disruption of the city's transport infrastructure due to construction works is described. To formalize the process, graph theory and the standard procedure for finding a critical section on a graph are used. The algorithm can be used at the stages of planning and organizing construction work.

Keywords: transport, construction, risk, algorithm.