УДК 519.179.2:004.925.8+622.271

А.О. Аристов

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КВАЗИКЛЕТОЧНЫХ СЕТЕЙ В КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКИ ПЕСЧАНОГО КАРЬЕРА*

Рассмотрено одно из приложений квазиклеточных сетей — имитационное и геометрическое моделирование движения самосвалов в карьере. Разработаны модели логистики карьера на основе квазиклеточных сетей. Квазиклеточные сети представляют собой дискретные структуры, не имеющие явно заданной сигнатуры и обеспечивающие моделирование потоковых систем на микро- и макроуровне в рамках единой модели. Траектории движения транспортных средств в карьере заданы в виде базового графа, на основе которого синтезирована квазиклеточная сеть. Установлена связь модельного и реального времени. Моделирование карьера квазиклеточными сетями позволяет оценить различные его характеристики, а именно нагрузку на отдельные его участки, объем выработанной руды, оценку мощности карьера и др.

Ключевые слова: транспортная логистика, карьер, поток, потоковая система, квазиклеточные сети, моделирование, визуализация, дискретные структуры.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-1-0-201-214

В работах автора [1, 2, 3] предложен особый тип дискретных структур — квазиклеточные сети. Указанные дискретные структуры предназначены для компьютерного моделирования систем, поведение которых сводится к распространению потоков в пространстве.

Определение 1. Статической структурой двухмерной координатной квазиклеточной сети называется дискретная структура, включающая в себя множество $Q = \{Q_1, Q_2, ..., Q_n\}$ круговых областей в двухмерном пространстве, имеющих радиус R, каждая из которых взвешена соответственно элементами из множеств $X = \{x_1, x_2, ..., x_n\}$, $Y = \{y_1, y_2, ..., y_n\}$. Тогда для каждой $Q_u \in Q$ найдется хотя бы одна $Q_v \in Q$ ($u, v = 1, 2,..., n$; $u \neq v$) такая, что выполняется условие

$$(x_u - x_v)^2 + (y_u - y_v)^2 \leq 4R^2.$$

Первоначальное представление о статической структуре квазиклеточной сети дается на основе построения ей элементов (клеток) Q_u на ребрах графа — базового графа квазиклеточной сети (рис. 1).

Каждая клетка квазиклеточной сети как область пространства может содержать некоторый микрообъект. Парамет-

* Выполнено при поддержке РФФИ. Тема № 15-08-06453А.

© А.О. Аристов. 2018.

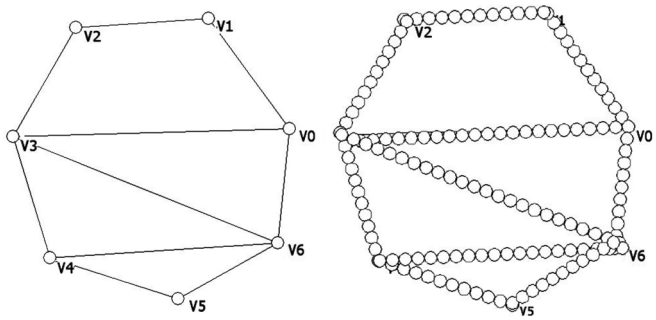

Рис. 1. Квазиклеточная сеть и ее базовый граф

ры клетки и микрообъекта образуют ее структуру, значения параметров — состояние.

Определение 2. Структура клетки квазиклеточной сети — набор значений переменных и констант, которыми взвешена каждая клетка квазиклеточной сети $Q_i = (B_i, C_i, S_i)$, где $B_i = (B_1, B_2, \ldots)$ — неизменные (базовые) параметры клетки (от англ. Basic); $C_i = (C_1, C_2, \ldots)$, — параметры клетки, изменяющиеся при прохождении объектов через клетку (от англ. Changeable); $S_i = (S_1, S_2, \ldots)$ — параметры объекта, находящегося в клетке, т.е. переменные состояния (фазовые переменные) клетки (от англ. State).

Простейшим случаем структуры квазиклеточной сети является структура вида $Q_i = (x, y, C, S)$, где x, y — пространственные (декартовы) координаты клетки; S — бинарное состояние клетки (наличие микрообъекта), $S \in \{0, 1\}$; C — счетчик микрообъектов, проходящих через клетку. Квазиклеточные сети с рассмотренной структурой клетки называются квазиклеточными сетями с бинарным состоянием.

Введем модельное время $t = 0, \theta, 2\theta, 3\theta, \ldots$, где θ — сколь угодно малый шаг (такт) модельного времени.

С течением модельного времени в квазиклеточной сети осуществляются передачи состояния между соседними клетками. Соседство клеток определяется предикатом соседства

$$P(Q_u, Q_v) = P(x_u, y_u, x_v, y_v) = \\ = \begin{cases} 0, \text{при} (x_u - x_v)^2 + (y_u - y_v)^2 > 4R^2 \\ 1, \text{при} (x_u - x_v)^2 + (y_u - y_v)^2 \le 4R^2 \end{cases}$$

Каждый такт модельного времени при наличии микрообъекта в клетке, он передается соседним клеткам, т.е. осуществляется переход.

Определение 3. Переходом (передачей) дискретного состояния $Q_u \to Q_v$ квазиклеточной сети называется изменение состояний клеток, вида

$$\begin{cases} S_u(t) = S \\ P(Q_u, Q_v) = 1 \end{cases} \to \begin{cases} S_v(t+\theta) = S_u(t) \\ S_u(t+\theta) = \overline{S} \end{cases}$$

где S — некоторое передаваемое (потокообразующее) состояние; $\overline{S}$ — некоторое состояние, устанавливаемое после передачи состояния S соседней клетке.

Также определяются дополнительные (ограничивающие) условия, определяющие возможность перехода. Множество всех возможных каждый такт модельного времени переходов называется циркуляцией в квазиклеточной сети.

Таким образом, квазиклеточная сеть представляет собой динамическую дискретную структуру.

Квазиклеточные сети предназначены для компьютерного моделирования систем (в различных интерпретациях), поведение которых сводится к распространению потоков в ограниченном про-

странстве. Рассмотрим моделирование транспортной логистики карьера на основе квазиклеточных сетей. В работах автора [4, 5] были предложены интерпретации квазиклеточных сетей и представление моделей в задачах моделирования транспортной и промышленной логистики на примере технологических схем карьеров. Остановимся подробнее на практических задачах, связанных с моделированием работы технологических схем на примере песчаного карьера. Целями моделирования логистики карьера является: оценка объемов добытой руды за выбранный отрезок времени, оценка времени прохождения самосвала в карьере, оценка времени простоя транспорта, оценка численности автопарка карьера и др. Указанные задачи предполагают моделирование широкого круга ситуаций, возникающих в работе карьера и возможности варьирования параметров модели. Фактически моделирование рассматривается как метод исследования и поддержки принятия решений по организации его работы (изменение численности автопарка, разработка новых маршрутов перевозки и т.д.).

В качестве примера рассмотрим карьер Ерденевского месторождения строительного песка (Калужская область, Малоярославецкий район, 54°55' с.ш., 36°25' в.д.) [6]. Вид карьера со спутника Google приведен на рис. 2. В указанном карьере ведется добыча песка. Песок Средний 2 класса (ГОСТ 8736-93), насыпная плотность ρ = 1489 кг/м^3 [7, 8]. Карьер находится на начальном этапе разработки, имеет глубину не превышающую 8—10 м. Крутизна склона карьера не превышает 8%. В процессе добычи и транспортировки песка используются самосвалы MAN TGS 41.400 и MAN TGS 40.480, а также экскаваторы КРАНЭКС ЕК 270 LC. Характеристики указанных машин приведены в табл. 1 и 2 [9, 10].

Рис. 2. Вид карьера со спутника Google [7]

Таблица 1

Характеристики карьерных самосвалов

Характеристики \ Модели	TGS 41.400	TGS 40.480
Скорость движения в карьере v, км/ч	15	15
Грузоподъемность Q, т	28	25
Объем самосвальной платформы V, м^3	19,2	18
Длина L, м	8,78	7,95

Таблица 2

Характеристики экскаваторов

Характеристики \ Модели	EK 270 LC
Объем ковша $V_к$, м^3	1,25
Рабочий цикл $t_р$, с	12

На первом этапе строится базовый граф, ребра которого траектории движения транспортных средств. Для синтеза квазиклеточной сети методом базового графа определим размер клетки (области пространства):

$$R = L/2\ , \qquad (1)$$

где L — размер транспортного средства вдоль траектории движения.

В рассматриваемом примере для модели TGS 41.400 R = 4,39 м, для TGS 40,480 R = 3,975 м.

Учитывая, что каждый такт модельного времени происходит передача состояния между клетками и считая, что бинарное состояние каждой клетки интерпретируется как наличие самосвала в указанной области пространства, то каждый такт модельного времени θ самосвал проходит расстояние $2R$.

Исходя из этого, такт модельного времени в секундах определяется как:

$$\theta = 2R/v, \qquad (2)$$

где R — радиус клетки квазиклеточной сети; v — скорость движения транспортного самосвала. Подставляя значения в формулу (2) получим параметры квазиклеточной сети, приведенные в табл. 3.

Схема движения карьерных самосвалов представлена в виде графа (рис. 3). На основе указанной модели производится синтез статической структуры квазиклеточной сети методом базового графа (рис. 4). Поскольку базовый граф является ориентированным, предполагается синтез квазиклеточной сети с микроциркуляцией.

На следующем этапе представления модели определим структуру клетки квазиклеточной сети. В простейшем случае структура клетки включает:

$$Q_i = (x_i, y_i, C_i, S_i, V_i), \qquad (3)$$

где x_i, y_i — координаты области пространства; C_i — счетчик количества самосва-

Таблица 3

Параметры квазиклеточных сетей

Характеристики \ Модели	TGS 41.400	TGS 40.480
Скорость движения в карьере v, м/с	4,16	4,16
Размер клетки R, м	4,39	3,975
Такт модельного времени θ, с	2,11	1,91

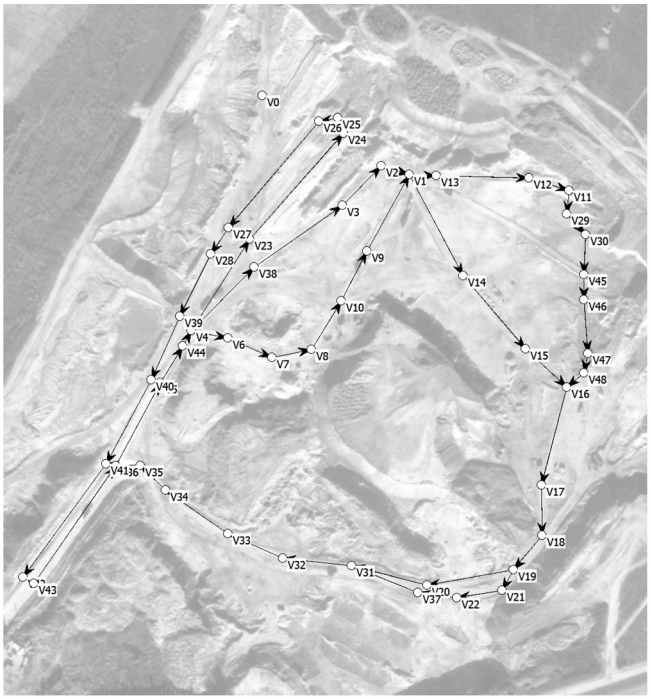

Рис. 3. Базовый граф для моделирования схемы перевозок в карьере

лов, прошедших через область пространства за время моделирования; S_i — наличие самосвала в заданной области пространства ($S_i \in \{0, 1\}$), V_i, м^3 — наполнение самосвала. Следует отметить, что структура клетки (3) расширяется в зависимости от целей моделирования и специфики решаемой задачи. Так, при

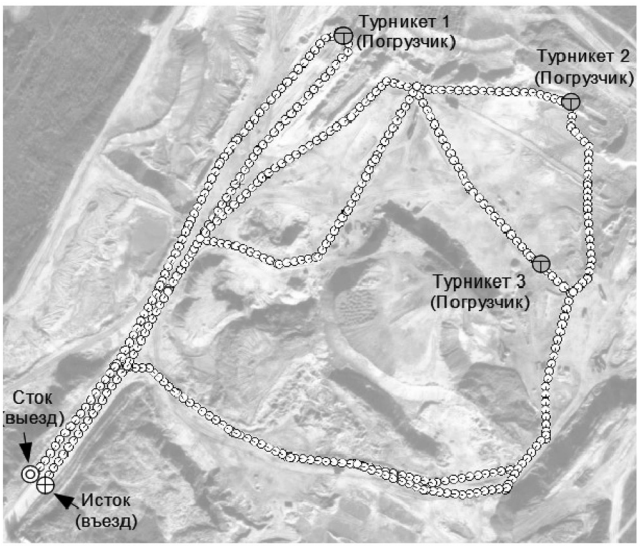

Рис. 4. Структура квазиклеточной сети (и ее элементы) для моделирования транспортной логистики карьера

необходимости учета расходов топлива, моделирования глубокого карьера с уклонами съездов более 8% и т.д. Вводятся дополнительные параметры, такие как координата z_i, расход топлива, скорости самосвала на каждом участке и т.п. На основе базового графа синтезируем статическую структуру квазиклеточной сети (рис. 4). В указанной статической структуре определяем элементы — стоки, истоки и турникеты.

Транспортная логистика моделируется в границах территории карьера.

В рассматриваемой квазиклеточной сети (рис. 4) генератор (исток) моделирует въезд на территорию карьера (контрольно-пропускной пункт). Работа генератора определяет появление самосвалов в карьере.

Сток моделирует выезд с территории карьера. Турникеты (клетки задержки) моделируют работу погрузчиков (экскаваторов), задержка фишки в указанной клетке интерпретируется как нахождение самосвала на загрузке.

Длительность технологической (время погрузки) операции загрузки самосвала моделируется временем задержки τ турникета. Время погрузки определяется по формуле:

$$\tau = \frac{V \cdot k_{НК}}{V_k \cdot KH} \cdot t_p \qquad (4)$$

где V — объем кузова самосвала; $k_{НК}$ — коэффициент наполнения кузова самосвала; $V_к$ — объем ковша экскаватора; KH — коэффициент наполнения ковша экскаватора.

Примем коэффициент наполнения ковша экскаватора KH = 0,95, поскольку песок относится к грунту I категории [11]. Считаем, что работа ведется без переэкскавации. Коэффициент наполнения кузова самосвалов определим $k_{НК}$ = 0,9. Следует отметить, что указанные коэффициенты фактически являются параметрами модели и зависят от ряда факторов, учет которых не относится к направлению данной работы. Объем песка, перевозимого самосвалом определяется по формуле:

$$V_с = V \cdot k_{НК} \qquad (5)$$

где V — объем кузова самосвала; $k_{НК}$ — коэффициент наполнения кузова самосвала. Масса песка перевозимого самосвалом определяется по формуле :

$$m = \rho V_с \qquad (6)$$

Подставляя в (4) значения, получаем оценки времени загрузки самосвалов (табл. 4).

Учитывая, что работа квазиклеточной сети осуществляется тактами, то время загрузки самосвала (интервал задержки турникета) следует выразить как число тактов модельного времени, в течение

Таблица 4

Оценка времени загрузки самосвалов

Характеристики \ Модели	TGS 41.400	TGS 40.480
Грузоподъемность Q, т	28	25
Объем самосвальной платформы V, м^3	19,2	18
Коэффициент наполнения кузова самосвала $k_{НК}$	0,9	
Коэффициент наполнения ковша экскаватора KH	0,95	
Масса песка (наполнение самосвала) m, т	25,72992	24,1218
Объем песка (наполнение самосвала) $V_с$, м^3	17,28	16,2
Время загрузки τ, с	174,6	163,7

Таблица 5

Временные характеристики квазиклеточной сети

Характеристики \ Модели	TGS 41.400	TGS 40.480
Такт модельного времени θ, с	2,11	1,91
Время загрузки τ, с	174,6	163,7
Количество тактов во время загрузки	83	86

которых осуществляется задержка состояния:

$$\tau_\theta = \left]\frac{\tau}{\theta}\right[\qquad (7)$$

где]...[— округление до большего целого.

Значения интервалов турникета для конкретных моделей самосвалов приведены в табл. 5.

На основе рассчитанных параметров построена кевазиклеточная сеть, моделирование работы которой с применением программного симулятора (рассмотренного в параграфе 7.1) позволит провести ряд компьютерных экспериментов и получить характеристики рассматриваемого карьера.

Эксперимент 1. Оценка времени прохождения самосвалов в карьере. Суть эксперимента состоит в получении выборки данных о длительности прохождения самосвалов в карьере от въезда к выезду. В эксперименте устанавливается общая длительность выполнения технологических операций, а именно проезд самосвала к месту погрузки (порожняком), погрузка, транспортировка самосвала к выезду из карьера.

Для проведения эксперимента в момент модельного времени t = 0 устанавливаем состояние клетки, моделирующей въезд на территорию карьера (клетка № 411) в значение S_{411} = 1. Далее на панели текущего времени (см. рис. 6) наблюдаем момент достижения клетки, моделирующей выезд с территории карьера (клетка № 410). Результаты

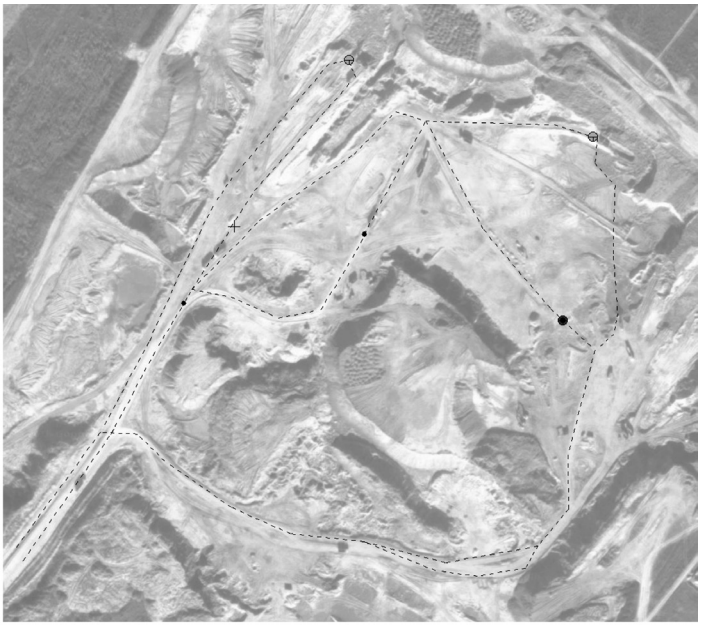

Рис. 5. Визуализация движения самосвалов в карьере

Таблица 6

Результаты моделирования времени прохождения самосвалов в карьере

Моделируемая величина \ Модели	TGS 41.400	TGS 40.480
Опыт 1 : время прохождения t_1, с	498	707
Опыт 2 : время прохождения t_1, с	800	475
Опыт 3 : время прохождения t_1, с	504	697
Опыт 4 : время прохождения t_1, с	732	684
Опыт 5 : время прохождения , с	642	640
Опыт 6 : время прохождения, с	764	632
Опыт 7 : время прохождения, с	692	672
Опыт 8 : время прохождения, с	738	676
Опыт 9 : время прохождения, с	763	681
Опыт 10 : время прохождения, с	724	672
Среднее время прохождения, с	685,7	653,6

10 опытов для различных моделей самосвала приведены в табл. 6. Согласно полученным данным самосвалы проходят по территории карьера в среднем примерно за 10 мин. Следует однако отметить, что в карьере работает 3 экскаватора и предполагается несколько возможных маршрутов прохождения, отличающихся общей длиной. Поэтому, по ряду маршрутов прохождение самосвала занимает более 15 мин. Указанная особенность наблюдается при визуализации движения самосвалов в карьере (рис. 5).

Эксперимент 2. Оценка производительности карьера. Целью эксперимента является получение данных об объемах добытой транспортированной руды за единицу времени (час, сутки и т.п.). Входными данными является интенсивность появления и закон распределения времени появления самосвалов на въезде в карьер.

Симулятор позволяет использовать генератор, формирующий самосвал с некоторой вероятностью p. Предполагается, что в момент модельного времени t в клетке, моделирующей въезд в карьер (клетка № 411) наблюдается появление самосвала, т.е. $S_{411}(t) = 1$. Поскольку квазиклеточная сеть работает тактами, то вероятность появления самосвалов в карьере определяется по формуле:

$$p = N_1/N \qquad (8)$$

где N_1 — количество тактов модельного времени, в которые $S_{411}(t) = 1$; N — общее количество тактов модельного времени (за время моделирования), т.е.

$$T = N\theta. \qquad (9)$$

Таблица 7

Оценка интенсивности появления самосвалов в зависимости от вероятности появления

Характеристики \ Модели	TGS 41.400	TGS 40.480
Такт модельного времени θ, с	2,11	1,91
Вероятность появления самосвала p	0,01	0,01
Количество самосвалов за час N_1	17	19

Таблица 8

Результаты моделирования

Характеристики \ Модели	TGS 41.400	TGS 40.480
Объем самосвальной платформы V, м^3	19,2	18
Коэффициент наполнения кузова самосвала $k_{НК}$	0,9	
Такт модельного времени θ, с.	2,11	1,91
За час работы		
Время моделирования T, с	3600	
Количество самосвалов на выезде из карьера (за час) C_{411}	15	19
Объем вывезенного песка за час $V_ч$, м^3	259,2	307,8
За смену (8 часов)		
Время моделирования T, с	28 800	
Количество самосвалов на выезде из карьера (за смену) C_{411}	143	159
Объем вывезенного песка за сутки $V_{сут}$, м^3	2471,04	2575,8

Подставляя (9) в (8) получаем

$$p = \frac{N_1 \theta}{T}, \qquad (10)$$

отсюда выражаем:

$$N_1 = \frac{pT}{\theta}. \qquad (11)$$

Формула (11) представляет оценку количества самосвалов, появившихся на въезде в карьер за время T. Проведем оценку количества самосвалов, поступающих в карьер за 1 ч работы (3600 с). Оценка количества самосвалов приведена в табл. 7.

Следует отметить, что формула (10) предназначена для настройки генератора в случае, когда известно количество самосвалов, поступающих на карьер в единицу времени. Формула (11) позволяет оценить количество появляющихся самосвалов при использовании в качестве входного параметра модели вероятности их появления.

Промоделируем работу карьера при указанной вероятности появления самосвалов p = 0,01. Рассмотрим работу карьера в течение часа модельного времени и рабочей смены (8 ч). Результаты моделирования приведены в табл. 8.

Также следует отметить, что симулятор позволяет устанавливать состояние любой клетки квазиклеточной сети, что представляет возможность моделировать ситуации с произвольным распределением времени появления самосвалов. Также перекрытие клетки пользователем позволяет моделировать аварийные ситуации в карьере, связанные с поломкой самосвалов, а также ограничением проезда.

Рассмотрим пример моделирования сценария работы карьера в течение 3 ч. В указанном сценарии ряд событий происходят под управлением пользователя. Сценарий рассматривается на примере обслуживания карьера самосвалами MAN TGS 40.480. События вида «Самосвал N въехал на территорию карьера», «Самосвал N: неисправность устранена» и «Самосвал N: неисправность устранена» генерируются пользователем. Результаты моделирования в виде сценария представлены в табл. 9. События, генерируемые пользователем, выделены в таблице курсивом.

На всех этапах моделирования по рассмотренным сценариям, результаты представляются в визуализированном

Таблица 9

Сценарий работы карьера

Момент времени, с	Событие
0087.86	Самосвал 1 въехал на территорию карьера
0221.56	Самосвал 1 достиг погрузчика. Начало загрузки самосвала 1
0382.00	Завершение загрузки самосвала 1
0546.26	Самосвал 1 выехал с территории карьера
0941.63	Самосвал 2 въехал на территорию карьера
1140.27	Самосвал 2 достиг погрузчика. Начало загрузки самосвала 2
1625.21	Завершение загрузки самосвала 2
1915.73	Самосвал 2 выехал с территории карьера
2186.95	Самосвал 3 въехал на территорию карьера
2389.41	Самосвал 3 достиг погрузчика. Начало загрузки самосвала 3
2546.03	Завершение загрузки самосвала 3
2920.39	Самосвал 3 выехал с территории карьера
3321.49	Самосвал 4 въехал на территорию карьера
3464.74	Самосвал 4 достиг погрузчика. Начало загрузки самосвала 4
3623.70	Завершение загрузки самосвала 4
3753.15	Самосвал 5 въехал на территорию карьера
3787.53	Самосвал 4 выехал с территории карьера
3957.52	Самосвал 5 достиг погрузчика. Начало загрузки самосвала 5
4116.05	Завершение загрузки самосвала 5
4423.56	Самосвал 5 выехал с территории карьера
4564.90	Самосвал 6 въехал на территорию карьера
4786.46	Самосвал 6 достиг погрузчика. Начало загрузки самосвала 6
4944.99	Завершение загрузки самосвала 6
5204.75	Самосвал 6 выехал с территории карьера
6396.59	Самосвал 7 въехал на территорию карьера
6614.33	Самосвал 7 достиг погрузчика. Начало загрузки самосвала 7
6772.86	Завершение загрузки самосвала 7
6988.69	Самосвал 7 выехал с территории карьера
7109.02	Самосвал 8 въехал на территорию карьера
7426.01	Самосвал 8 достиг погрузчика. Начало загрузки самосвала 8
7583.85	Завершение загрузки самосвала 8
7804.26	Самосвал 8 выехал с территории карьера
9655.05	Самосвал 9 въехал на территорию карьера
9704.71	Самосвал 9 : неисправность
10021.77	Самосвал 10 въехал на территорию карьера
10069.52	Самосвал 10 : начало простоя

10354.11	Самосвал 9 : неисправность устранена
10354.11	Самосвал 10 : конец простоя
10572.55	Самосвал 9 достиг погрузчика. Начало загрузки самосвала 9
10586.92	Самосвал 10 достиг погрузчика. Начало загрузки самосвала 10
10608.14	Завершение загрузки самосвала 9
10707.46	Самосвал 11 въехал на территорию карьера
10715.10	Завершение загрузки самосвала 10
10757.12	Самосвал 9 выехал с территории карьера
10896.55	Самосвал 11 достиг погрузчика. Начало загрузки самосвала 11
11037.89	Самосвал 10 выехал с территории карьера
11221.25	Завершение загрузки самосвала 11
115015	Самосвал 11 выехал с территории карьера

Рис. 6. Шкала тепловой карты

виде (см. рис. 5). Также следует отметить возможности применения счетчиков C_i при визуализации в виде тепловой карты. На тепловой карте в шкале (рис. 6) показано количество транспортных средств (самосвалов), находящихся в каждой области пространства (клетке) за время моделирования *T*. На рис. 7 приведена тепловая карта при моделировании 1 ч работы карьера.

Следует отметить, что на тепловой карте (рис. 7), счетчики C_i показывают также участки, на которых осуществляется задержка самосвалов (в т.ч. замедление скорости). Таким образом, тепловая карта позволяет визуализировать нагрузку на отдельные участки дорог карьера.

Рассмотренные выше примеры моделирования имеют достаточно широкое практическое применение, тесно связанное с оценкой работы карьера, а также подбора его параметров, в т.ч. его автопарка. Следует отметить, что рассмотренные модели являются инструментарием для оценки различных

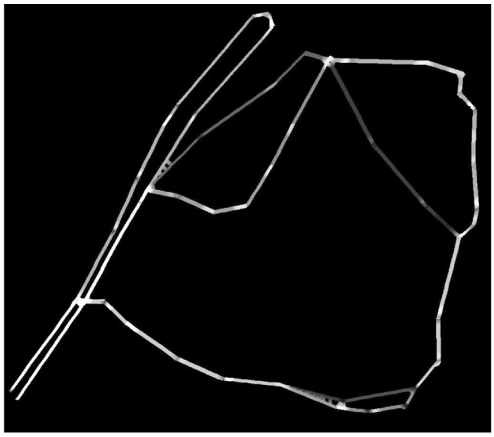

Рис. 7. Представление результатов моделирования карьера в виде тепловой карты

ситуаций в работе песчаного карьера. Конкретные решения по организации работы карьера, разработке маршрутов движения транспорта в нем, формирования автопарка и т.д. осуществляются специалистами в данной области, для которых предлагаемые модели являются инструментариями поддержки принятия решений [12].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аристов А. О.* Теория квазиклеточных сетей: научная монография. — М.: МИСиС, 2014. — 188 с.

2. *Аристов А. О.* Квазиклеточные сети. Синтез и циркуляция // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2013. — № 2. — С. 125—131.

3. *Аристов А. О.* Квазиклеточные сети и их приложения в задачах моделирования посетителей объектов массового пребывания людей // Компьютерные исследования и моделирование. — 2014. — т. 6. — № 2. — С. 285—294.

4. *Аристов А. О.* Квазиклеточные сети и их предметные интерпретации в задачах моделирования транспортной логистики открытых горных работ / Всероссийская выставка Научно-технического творчества молодежи. II Международная научно-практическая конференция «Научно-техническое творчество молодежи. — путь к обществу, основанному на знаниях»: сборник научных докладов. — М.: МГСУ, 2013. — С. 165—168.

5. *Аристов А. О.* Практическое руководство по моделированию потоковых систем квазиклеточными сетями: учебное пособие. — М.: МИСиС, 2015. — 132 с.

6. *Bennouna L.* Impacts of the new fixed link between Sweden and Denmark on the transport logistics system in Sweden. — 1999. — 83 p.

7. *Vanek M.* Economic modelling and simulation as effective decision-making tools for mining company managers // Górnictwo i Geologia. — 2008. — vol. 3. — no 1. — pp. 91—106.

8. *Aguirre A. B., Hennies W. T., Marks A.* Innovative logistics for the transportation of sand and gravel in Brazil // International Journal of Logistics Systems and Management. — 2010. — vol. 7. — no 4. — pp. 490—506.

9. *Аристов А. О.* Программный комплекс синтеза, анализа и моделирования работы координатных квазиклеточных сетей с бинарным состоянием. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016662128.

10. *Google* карты // Google карты — режим доступа: https://www.google.ru/maps/@54.9219262,36.4306044,567m/data=!3m1!1e3 (дата обращения: 1.10.2016).

11. *Паспорт* качества // Ерденевское месторождение строительных песков — режим доступа: https://sites.google.com/site/erdenevopesok/home/pasport-kacestva (дата обращения: 1.10.2016).

12. *Самосвалы* MAN. Технические характеристики // Каталог техники EuroComAuto — режим доступа: http://www.evrocomauto.ru/products/ (дата обращения: 8.10.2016).

13. *Технические* характеристики EK 270LC // Машиностроительная компания Кранэкс — режим доступа: http://www.kraneks.ru/ru/node/30 (дата обращения: 8.10.2016).

14. *Лунин В. С.* Вместимость ковша экскаватора // Технопарк Impulse — режим доступа: http://www.impulse.su/articles/?art_id=50 (дата обращения: 14.10.2016).

15. *Аристов А. О.*, *Моргачев К. В.*, *Рябов Л. П.*, *Суворов А. В.*, *Федоров А. М.* Компьютерные системы поддержки принятия решений. — М: МГГУ, 2012. — 172 с. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Аристов Антон Олегович — доцент, e-mail: batan-87@mail.ru, НИТУ «МИСиС».

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 1, pp. 201–214.

A.O. Aristov

THEORETICAL AND APPLIED BASELINE FOR APPLICATION OF QUASI-CELLULAR NETS IN COMPUTER MODELING AND VISUALIZATION OF TRANSPORT LOGISTICS IN OPEN PIT SAND MINE

The article describes the quasi-cellular system application—geometric simulation of truck traffic in an open pit mine. The models of the open pit mine logistics are developed based on the quasi-

cellular nets. The quasi-cellular nets are the discrete structures without signature for modeling flow systems at micro-and macro-levels within the unified model.

The motion paths of transport in an open pit mine are set as the reference graph, and a quasi-cellular net is synthesized on this base. The model and real times are related. Modeling of an open pit mine with quasi-cellular nets makes it possible to estimate various characteristics of the open pit, namely, load on separate areas of the open pit mine, produced volume, capacity, etc.

Key words: quarry, transport logistics, flow, flow-based system, quasi-cellular net, simulation, visualization, discrete structures.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-1-0-201-214

AUTHOR

Aristov A.O., Assistant Professor, e-mail: batan-87@mail.ru,
National University of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study has been supported by the Russian Foundation for Basic Research, Project Topic No. 15-08-06453A.

REFERENCES

1. Aristov A.O. *Teoriya kvazikletochnykh setey*: nauchnaya monografiya (Theory of quasi-cellular nets: scientific monograph), Moscow, MISiS, 2014, 188 p.

2. Aristov A.O. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2013, no 2, pp. 125—131.

3. Aristov A.O. *Komp'yuternye issledovaniya i modelirovanie*. 2014, vol. 6, no 2, pp. 285—294.

4. Aristov A.O. *Vserossiyskaya vystavka Nauchno-tekhnicheskogo tvorchestva molodezhi. II Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Nauchno-tekhnicheskoe tvorchestvo molodezhi. put' k obshchestvu, osnovannomu na znaniyakh»*: sbornik nauchnykh dokladov (All-Russian Expo of Technological Art of the Youth. II International Scientific–Practical Conference: Technological Art of the Youth: Way to a Knowledge-Based Society: collection of scientific reports), Moscow, MGSU, 2013, pp. 165—168.

5. Aristov A.O. *Prakticheskoe rukovodstvo po modelirovaniyu potokovykh sistem kvazikletochnymi setyami*: uchebnoe posobie (Practical guidance on flow system modeling with quasi-cellular nets: Educational aid), Moscow, MISiS, 2015, 132 p.

6. Bennouna L. *Impacts of the new fixed link between Sweden and Denmark on the transport logistics system in Sweden*. 1999. 83 p.

7. Vanek M. Economic modelling and simulation as effective decision-making tools for mining company managers. *Górnictwo i Geologia*. 2008, vol. 3, no 1, pp. 91—106.

8. Aguirre A.B., Hennies W.T., Marks A. Innovative logistics for the transportation of sand and gravel in Brazil. *International Journal of Logistics Systems and Management*. 2010, vol. 7, no 4, pp. 490—506.

6. Aristov A.O. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2016662128 (Certificate of state registration of computer programs № 2016662128).

7. *Google karty*, available at: https://www.google.ru/maps/@54.9219262,36.4306044,567m/data=!3m1!1e3 (accessed 1.10.2016).

8. Pasport kachestva. *Erdenevskoe mestorozhdenie stroitel'nykh peskov*, available at: https://sites.google.com/site/erdenevopesok/home/pasport-kacestva (accessed 1.10.2016).

9. Samosvaly MAN. Tekhnicheskie kharakteristiki. *Katalog tekhniki EuroComAuto*, available at: http://www.evrocomauto.ru/products/ (accessed 8.10.2016).

10. Tekhnicheskie kharakteristiki EK 270LC. *Mashinostroitel'naya kompaniya Kraneks*, available at: http://www.kraneks.ru/ru/node/30 (accessed 8.10.2016).

11. Lunin V.S. Vmestimost' kovsha ekskavatora. *Tekhnopark Impulse*, available at: http://www.impulse.su/articles/?art_id=50 (accessed 14.10.2016).

12. Aristov A.O., Morgachev K.V., Ryabov L.P., Suvorov A.V., Fedorov A.M. *Komp'yuternye sistemy podderzhki prinyatiya resheniy* (Decision-making supporting computer systems), Moscow, MGGU, 2012, 172 p.

FIGURES

Fig. 1. Quasi-cellular net and her basic graph.
Fig. 2. Satellite view.
Fig. 3. Basic graph for modeling trajectories in quarry.
Fig. 4. Structure of quasi-cellular net for simulation transport logistics of quarry.
Fig. 5. Visualization of tipper motion in quarry.
Fig. 6. Warm-map scale.
Fig 7. Results of simulation as warm-map.

TABLES

Table 1. Characteristics of open pit mine dump trucks.
Table 2. Characteristics of excavating machines.
Table 3. Parameters of quasi-cellular nets.
Table 4. Dump truck loading timing estimation.
Table 5. Time characteristics of quasi-cellular nets.
Table 6. Modeling data on travelling time of dump trucks in an open pit mine.
Table 7. Estimation of dump truck occurrence rate depending on the occurrence probability.
Table 8. Modeling results.
Table 9. Open pit mine operation scenario.

ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

МЕЖЕВАНИЕ ЗЕМЕЛЬ В США ПОСЛЕ ВОЙНЫ ЗА НЕЗАВИСИМОСТЬ

(2017, № 10, СВ 22, 8 с.)

Тесаловский Андрей Альбертович — кандидат технических наук, доцент,
Вологодский государственный университет, e-mail: andrew-tesalovsky@yandex.ru.

Рассмотрены работы по отводу и распределению земельных участков за военную службу на примере штата Индиана в районе реки Огайо. Дана характеристика основных инструментов, применяемых для полевых измерений в указанный период: мерные цепи, магнитные и солнечные компасы. Описана конструкция мерных цепей и особенности измерения длин и направлений границ существующих и выносимых в натуру землевладений. Указаны вытекающие из производства измерений цепями ошибки, вязанные с провисанием и износом инструментов. Описана методика определения направлений границ относительно истинного и магнитного меридиана с помощью компаса, указаны основные источники допускаемых ошибок.

Ключевые слова: землевладение, землеустройство, истинный азимут, межевание земель, мерная цепь, склонение магнитной стрелки, солнечный компас.

LAND SURVEYING IN THE USA AFTER THE AMERICAN REVOLUTIONARY WAR

Tesalovskiy A.A., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
Vologda State University, Vologda, Russia, e-mail: andrew-tesalovsky@yandex.ru.

The article deals with the expansion of the territory of the USA in the late 18th century and the first half of the 19th century after The American Revolutionary War (1775–1783) due to the purchase of Northwest Territory, Oregon Country and The Louisiana Purchase. The purchase of vast territories and the measures taken by the government to increase the number of estates coming into private property required the complex of land surveying work. Examine the land surveying the parcels for men who fought for independence in The American Revolutionary War at the example of Indiana near the Ohio River. The characteristic of the basic instruments such as surveyor's chain (Gunter's chain), magnetic and solar compasses is given. Article deals with the description of the Gunter's chain and measuring the lengths of the boundaries using the Gunter's chain, determining the directions. The sources of errors were the sag of chain and links that rubbed together. Methods of determining the directions and the sources of errors caused by these methods are described. The attempts at compensating for errors of measurement was making by land surveyors in the late 18th century and the first half of the 19th century are described. Measurements were accurate to 1 meter in 500. This accuracy is comparing to the accuracy of land surveying in Colonial Period.

Key words: landed estate, land management, true north, land surveying, Gunter's chain, magnetic variation, solar compass, USA, measurement accuracy.