

Коробийчук В. В.,
Иськов С. С.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО СПОСОБА ИЗВЛЕЧЕНИЯ МОНОЛИТОВ КАМНЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ КАПИТАЛЬНЫХ ТРАНШЕЙ

Рассчитаны усилия, необходимые для опрокидывания или отодвигания монолита от массива в зависимости от угла бурения или резания тыльной стороны монолита. Представлен случай опрокидывания монолита природного камня с использованием гидравлических домкратов, а отдвижка с помощью бульдозеров или фронтальных погрузчиков. Определен оптимальный угол бурения тыльной стороны монолита для максимального уклона капитальной траншеи.

Ключевые слова: монолит, угол, бурения, опрокидывания, сила.

1. Введение

Проведение капитальных траншей в блочном карьере всегда считалось задачей трудной и малоисследованной, так как обычные технологии добычи природного камня необходимо приспособлять к условиям проведения этих траншей. В предыдущих публикациях [1–3] были рассмотрены способы прохождения траншей с невзрывными технологиями добычи, что увеличивает сохранность массива. Но при механическом методе отделении монолита от массива возникают попутные проблемы и вопросы, которые необходимо исследовать. Например, под каким углом бурить или резать вертикальную плоскость монолита, какие принимать оптимальные размеры монолита, какие механизмы или приспособления использовать при отделении монолита от массива. Во всех случаях монолит необходимо подвинуть или опрокинуть, именно эту конкретную задачу рассмотрим в нашей публикации. Длина монолита принималась 2 м во всех случаях, объем монолита с понижением траншеи увеличивается.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Проблемой системы разработки блочных карьеров занимались ученые Жуков С. О. [4], Косолапов А. И. [5], Першин Г. Д. [6], Карло Скаллетти [7]. В работах этих ученых рассмотрены способы заложения вскрышных выработок при транспортной системе разработки и вскрытие карьеров при бестранспортных системах. Сделана систематизация и классификация систем разработки карьерных полей. Рассмотрены новые технологии добычи камня. В работе [8] рассмотрены способы бурения скважин при оконтуривании первого монолита, также приведены схемы вскрытия месторождений с помощью капитальных и разрезных траншей. В работах [9, 10] указаны методики расчетов производительности блочных карьеров, структур комплексной механизации, энергоемкость различных методов разделения горных пород и расхода основных материалов. Анализ литературных источников показал, что вопрос связанный с проходкой капитальных траншей мало изучен.

3. Цель и задачи исследования

Целью данной публикации является определить усилия, которые необходимо приложить для опрокидывания или отодвигания монолита от массива в зависимости от угла бурения или резания тыльной стороны монолита. Что, в свою очередь, даст возможность подобрать необходимые по мощности механизмы, устройства или приспособления для отдвижки или опрокидывания монолита в конкретных условиях работы.

Авторы рассматривали случай опрокидывания монолита с помощью гидродомкратов, а отдвижку с помощью бульдозеров или фронтальных погрузчиков.

4. Основная часть

4.1. Случай опрокидывания блока. Рассмотрим случай опрокидывания блока с помощью гидродомкратов, предположив при этом, что блок подвигаться не будет.

Сначала найдем центр тяжести и площадь вертикального продольного сечения блока. Для этого разобьем вертикальное продольное сечение блока на простые геометрические фигуры (рис. 1):

1) прямоугольник ABB_1D_1 площадью $S_1 = l \cdot h$;

2) треугольник $A_1B_1C_1$ площадью

$$S_2 = \frac{1}{2}(h + l \cdot \operatorname{tg}\alpha)^2 \operatorname{tg}\beta;$$

3) треугольник AA_1D_1 площадью $S_3 = \frac{1}{2}l^2 \operatorname{tg}\alpha$;

4) треугольник ABC с отрицательной площадью

$$S_2 = -\frac{1}{2}h^2 \operatorname{tg}\beta,$$

где за начало координат принимается точка $A(0; 0)$, координаты других вершин фигур следующие: $B(0; h)$, $C(h \operatorname{tg}\beta; h)$, $A_1(l; -l \operatorname{tg}\alpha)$, $B_1(l; h)$, $C_1(\operatorname{tg}\beta \cdot h + l(1 + \operatorname{tg}\alpha \operatorname{tg}\beta); h)$, $D_1(l; 0)$.

Тогда общая площадь вертикального продольного сечения блока будет

$$S = l \left(h + \frac{1}{2} l \operatorname{tg}\alpha \right) (1 + \operatorname{tg}\alpha \operatorname{tg}\beta),$$

объем блока

$$V = bS = bl \left(h + \frac{1}{2} l \operatorname{tg} \alpha \right) (1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta),$$

а масса блока

$$m = V\rho = \rho bl \left(h + \frac{1}{2} l \operatorname{tg} \alpha \right) (1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta),$$

где b – ширина блока, ρ – объемный вес породы.

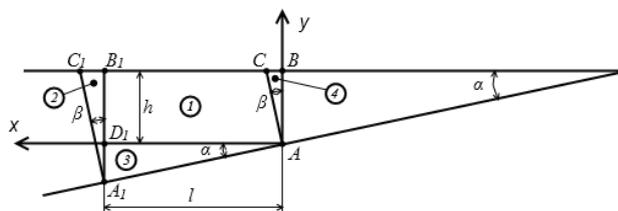


Рис. 1. Разделение блока AA_1C_1C на простые геометрические фигуры

Координаты центра тяжести блока Ц в начальный момент времени будут следующие:

$$x_{ц0} = \frac{\frac{1}{2} h (h \operatorname{tg} \beta + l (1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta)) (1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta) + \frac{1}{3} l^2 \operatorname{tg} \alpha \left(1 + \frac{1}{2} \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta (3 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta) \right)}{\left(h + \frac{1}{2} l \operatorname{tg} \alpha \right) (1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta)},$$

$$y_{ц0} = \frac{\frac{1}{2} h^2 - \frac{1}{6} l^2 \operatorname{tg}^2 \alpha}{h + \frac{1}{2} l \operatorname{tg} \alpha}.$$

При повороте блока вокруг точки A на угол δ координаты центра тяжести блока можно найти по формулам (рис. 2):

$$x_{ц} = \cos(\delta + \gamma) \sqrt{x_{ц0}^2 + y_{ц0}^2};$$

$$y_{ц} = \sin(\delta + \gamma) \sqrt{x_{ц0}^2 + y_{ц0}^2},$$

где $\operatorname{tg} \gamma = \frac{y_{ц0}}{x_{ц0}}$.

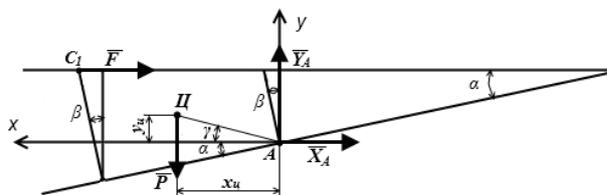


Рис. 2. Силы и реакции, действующие на блок AA_1C_1C при его опрокидывании

Блок находится в равновесии, если соблюдены следующие условия:

$$\begin{cases} \sum X_i = 0; & X_A + F = 0; \\ \sum Y_i = 0; & Y_A - P = 0; \\ \sum M_A(\vec{F}_i) = 0; & -Fx_s + Px_{ц} = 0. \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} X_A = -F; \\ Y_A = P; \\ F = P \frac{x_{ц}}{x_s}, \end{cases}$$

где x_s – высота установки гидродомкратов относительно уровня точки A . В начальный момент времени гидродомкраты устанавливаются вблизи верхней плоскости блока, поэтому при $\delta = 0$ можно считать, что $x_{s0} = h$.

Крутонаклонные шурупы для сплошного обмуровывания задней стенки блока планируется проводить через каждые 2 м. При уклоне траншеи 200 промилль сила,

необходимая для опрокидывания блока в начальный момент времени, должна иметь большее значение, чем приведено в табл. 1 (расчеты выполнены при $\beta = 12^\circ$). Зависимость силы и веса блока от его высоты показана на рис. 3.

Для определения сила опрокидывания блока F в произвольный момент времени (при повороте блока на некоторый угол δ) нужно знать высоту установки гидродомкратов x_s относительно уровня точки A и горизонтальное отклонение тыльной стороны блока Δc_1 относительно точки установки гидродомкратов. Найдя координаты проекции прямой пересечения откоса массива с условным продолжением тыльной стороны блока – т. K (рис. 4) по аналитически полученным формулам

Таблица 1

Сила опрокидывания F для блоков разного размера в начальный момент времени

Размеры блока, м			Площадь боковой поверхности, S , м ²	Объем блоку, V , м ³	Вес блока, P , кН	Координаты центра тяжести блока		Высота установки гидродомкратов, x_{s0} , м	Сила для опрокидывания монолита, больше, F , кН
h	l	b				$x_{ц}$, м	$y_{ц}$, м		
1,6	2	8	3,753	30,024	824,71	1,229	0,696	2,425	633,54
2	2	8	4,587	36,696	1007,98	1,265	0,897	2,510	637,42
2,4	2	8	5,421	43,368	1191,25	1,303	1,097	2,595	646,5
2,8	2	8	6,255	50,041	1374,51	1,342	1,298	2,680	658,55
3,2	2	8	7,089	56,713	1557,78	1,381	1,498	2,765	672,46
3,6	2	8	7,923	63,385	1741,05	1,422	1,698	2,850	687,61
4	2	8	8,757	70,057	1924,32	1,463	1,898	2,935	703,62
4,4	2	8	9,591	76,729	2107,59	1,504	2,099	3,020	720,26
4,8	2	8	10,425	83,401	2290,86	1,545	2,299	3,105	737,37
5,2	2	8	11,259	90,073	2474,12	1,587	2,499	3,190	754,85
5,6	2	8	12,093	96,745	2657,39	1,628	2,699	3,275	772,61

$$x_K = y_K \operatorname{tg} \beta + l(1 + \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta);$$

$$y_K = \frac{l \sin(\delta - \alpha) \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} + (l(1 + \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta) - l \cos(\delta - \alpha) \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}) \Delta b}{1 - \Delta b \cdot \operatorname{tg} \beta}.$$

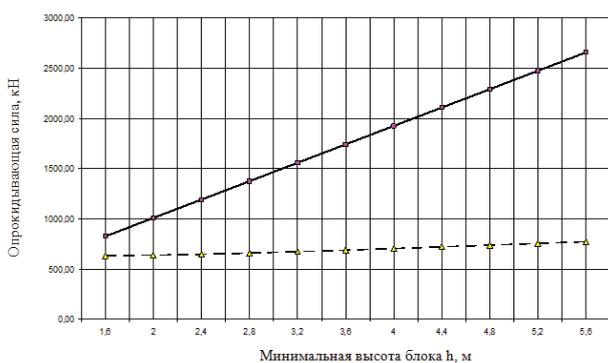


Рис. 3. Зависимость опрокидывающей силы от минимальной высоты блока: —○— p, кН; —▲— F, кН

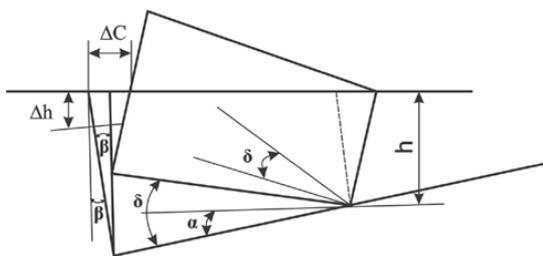


Рис. 4. Схема к определению высоты расположения гидродомкрата

По данным формулам можно определить горизонтальное отклонение тыльной стороны блока Δc относительно поверхности массива (начальной точки установки гидродомкратов) при любом угле поворота блока:

$$\Delta c = \sqrt{x_K^2 + y_K^2} \cdot \frac{\sin \delta}{\sin(\delta + 90 - \beta)},$$

$$\Delta b = \frac{\sin(\delta + \gamma) \sqrt{(l(1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta) + h \operatorname{tg} \beta)^2 + h^2} - l \sin(\delta - \alpha) \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}}{\cos(\delta + \gamma) \sqrt{(l(1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta) + h \operatorname{tg} \beta)^2 + h^2} - l \cos(\delta - \alpha) \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}}.$$

Сравнивая величину Δc с максимальной величиной хода штока Δs (выбирается за техническими характеристиками гидродомкратов), можно определить, при каком отклонении блока нужно фиксировать его положение (например, забрасывая камни в щель) и опустить гидродомкраты на глубину Δh от поверхности:

$$\Delta h = \cos \beta \left(1 - \frac{\Delta s}{\Delta c} \right) \sqrt{x_K^2 + y_K^2}.$$

В табл. 2 представлены результаты расчета силы опрокидывания F для первого и последнего блоков траншеи при максимальной величине хода штока $\Delta s = 30$ см и длине гидродомкрата 32 см.

Как видно из графика (рис. 5), при опускании гидродомкрата его минимальное усилие, требуемое для опрокидывания блока, возрастает почти вдвое.

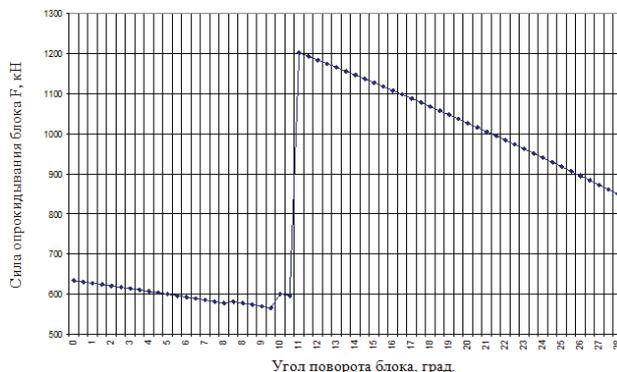


Рис. 5. Зависимость силы опрокидывания от угла поворота блока

Большое значение имеет соблюдение минимального угла наклона шпуров β к вертикали. Для возможности опрокидывания блока должно соблюдаться условие $\beta \geq \alpha$. Исследовав зависимость изменения силы опрокидывания блока в начальный момент времени от угла

Таблица 2

Расчет силы опрокидывания блока F для последнего блока траншеи ($h = 5,6$ м)

Угол поворота блока, δ , град	Δb	Координаты точки K		Горизонтальное отклонение блока от поверхности массива, Δc , м	Глубина расположения гидродомкрата относительно поверхности, Δh , м	Сила опрокидывания блока, больше, F , кН
		X_K , м	Y_K , м			
0	-0,2	2,000	-0,400	0,000	0	772,615
0,5	-0,19094	2,004	-0,383	0,055	0	761,409
1	-0,18191	2,007	-0,365	0,111	0	750,146
1,5	-0,17291	2,011	-0,348	0,166	0	738,825
2	-0,16393	2,015	-0,330	0,221	0	727,448
2,5	-0,15499	2,019	-0,313	0,276	0	716,016
2,9	-0,14784	2,021	-0,299	0,320	0,368	756,521
3	-0,14606	2,022	-0,295	0,331	0,368	754,058
3,1	-0,14428	2,023	-0,292	0,342	3,136	1595,767
3,5	-0,13716	2,026	-0,278	0,386	3,136	1574,778
4	-0,12828	2,030	-0,260	0,441	3,136	1548,433
4,5	-0,11942	2,033	-0,243	0,496	3,136	1521,970
5	-0,11058	2,037	-0,225	0,551	3,136	1495,391
5,5	-0,10175	2,041	-0,208	0,606	3,136	1468,699
6	-0,09294	2,045	-0,190	0,661	3,136	1441,894

наклона шпуров для блоков с минимальной высотой $h = 1,6$ м и $5,6$ м (табл. 3), можно сделать вывод о ее значительном росте с увеличением угла наклона шпуров.

Таблица 3

Зависимость силы опрокидывания блока F от угла наклона шпуров

β , град	При $h = 1,6$ м			При $h = 5,6$ м		
	Площадь боковой поверхности, S , м^2	Вес блока, P , кН	Сила опрокидывания блока, больше, F , кН	Площадь боковой поверхности, S , м^2	Вес блока, P , кН	Сила опрокидывания блока, больше, F , кН
12	3,753	824,708	633,543	12,093	2657,393	772,615
15	3,7929	833,472	666,353	12,222	2685,633	857,894
18	3,8339	842,486	700,668	12,354	2714,676	947,294
21	3,8764	851,812	736,783	12,491	2744,727	1041,595
24	3,9206	861,521	775,041	12,633	2776,011	1141,718
27	3,9669	871,693	815,849	12,782	2808,790	1248,760
30	4,0157	882,424	859,697	12,939	2843,367	1364,041
33	4,0676	893,825	907,181	13,107	2880,102	1489,179
36	4,1231	906,029	959,041	13,286	2919,426	1626,174
39	4,183	919,199	1016,198	13,479	2961,863	1777,540
42	4,2483	933,536	1079,831	13,689	3008,062	1946,485
45	4,32	949,294	1151,459	13,92	3058,836	2137,167

4.2. Случай подвигания блока. Теперь рассмотрим случай подвигания блока при условии, что блок не будет опрокидываться (поворачиваться). Блок находится в равновесии (рис. 6), если выполняются следующие требования:

$$\begin{cases} \sum X_i = 0; & -F_{\text{тр}} - mg \sin \alpha + F \cos \alpha = 0; \\ \sum Y_i = 0; & N - mg \cos \alpha - F \sin \alpha = 0. \end{cases}$$

где $F_{\text{тр}} = fN$.

Решив систему уравнений, получим предельное значение силы, при которой блок еще не будет двигаться

$$F = \frac{P(\sin \alpha + f \cos \alpha)}{\cos \alpha - f \sin \alpha} = 0.$$

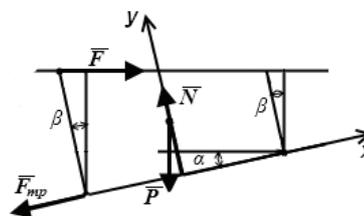


Рис. 6. Силы и реакции, действующие на блок AA_1C_1C при его подвигании

Из формулы и данных табл. 4 следует, что при постоянном угле наклона траншеи сила F будет пропорциональна весу блока P .

5. Выводы

При уклоне траншеи 200 промилей минимальный угол бурения тыльной стороны должен быть не меньше 12 градусов в противном случае монолит не сможет перевернуться (необходимо применять отодвигание его, где усилие возрастет приблизительно в полтора раза). При увеличении угла бурения тыльной стороны монолита необходимые усилия для опрокидывания будут возрастать. Использование домкратов с большим штоком приведет к применению меньшей мощности домкратов.

При установке домкрата во втором положении усилия, которые необходимы для опрокидывания монолита возрастут почти вдвое. Для успешного опрокидывания монолита боковые грани должны отделены от массива с помощью строчечного бурения.

Литература

1. Коробийчук, В. В. Дослідження впливу розмірів первинного моноліту природного каменю на питомі втрати природного каменю [Текст] / В. В. Коробийчук // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. – Технічні науки. – 2012. – № 1(57). – С. 150–154.
2. Коробийчук, В. В. Обґрунтування способу проведення капітальних траншей алмазно-канатною установкою [Текст] / В. В. Коробийчук // Вісник ЖДТУ. – Технічні науки. – 2011. – № 4(59). – С. 141–147.
3. Коробийчук, В. В. Вплив бурових робіт на якість первинного моноліту при його відокремленні від масиву [Текст] / В. В. Коробийчук, В. В. Котенко // Вісник ЖДТУ. – Технічні науки. – 2008. – № 4(47). – С. 160–167.
4. Жуков, С. О. Эффективность применения комбинированного метода добычи блоков с помощью канатного резания

Таблица 4

Сила подвигания F блоков разного размера

Размеры блока, м			Вес блока, P , кН	Сила подвигания блока F , кН, при коэффициентах трения f					
h	l	b		0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6
1,6	2	8	824,71	503,988	549,805	595,623	641,440	687,257	733,074
2	2	8	1007,98	615,986	671,984	727,983	783,982	839,981	895,979
2,4	2	8	1191,25	727,983	794,163	860,344	926,524	992,704	1058,885
2,8	2	8	1374,51	839,981	916,342	992,704	1069,066	1145,428	1221,790
3,2	2	8	1557,78	951,978	1038,521	1125,065	1211,608	1298,152	1384,695
3,6	2	8	1741,05	1063,975	1160,700	1257,425	1354,150	1450,876	1547,601
4	2	8	1924,32	1175,973	1282,879	1389,786	1496,693	1603,599	1710,506
4,4	2	8	2107,59	1287,970	1405,058	1522,147	1639,235	1756,323	1873,411
4,8	2	8	2290,86	1399,968	1527,237	1654,507	1781,777	1909,047	2036,316
5,2	2	8	2474,12	1511,965	1649,416	1786,868	1924,319	2061,770	2199,222
5,6	2	8	2657,39	1623,962	1771,595	1919,228	2066,861	2214,494	2362,127

- и сплошного выбуривания на карьерах блочного камня Букинского месторождения габбро Житомирской области [Текст] / С. О. Жуков, А. В. Камских, А. Н. Махно // Добыча, обработка и применение природного камня. — Вып. 10. — Магнитогорск : ГОУ ВПО «МГУ», 2010. — С. 44–50.
5. Косолапов, А. И. Технология добычи блочного камня [Текст] / А. И. Косолапов. — Красноярск : КГУ, 1990. — 192 с.
 6. Першин, Г. Д. Добыча блоков мрамора алмазно-канатными пилами [Текст] : учеб. пособие / Г. Д. Першин, Г. А. Караулов, П. Г. Караулов. — Магнитогорск : МГТУ, 2003. — 103 с.
 7. Скалетти, К. Возможности применения баровых машин фирмы «Dazzini» на карьерах мрамора и природного камня [Текст] / К. Скалетти, Д. А. Никулишин // Добыча, обработка и применение природного камня. — Вып. 10. — Магнитогорск : ГОУ ВПО «МГУ», 2010. — С. 166–171.
 8. Синельников, О. Б. Добыча природного облицовочного камня [Текст] / О. Б. Синельников. — М. : Издательство РАСХН, 2005. — 245 с.
 9. Беликов, Б. П. Облицовочный камень и его оценка [Текст] / Б. П. Беликов, В. П. Петров. — М. : Наука, 1977. — 139 с.
 10. Карасев, Ю. Г. Природный камень. Добыча блочного и стенового камня [Текст] / Ю. Г. Карасев, Н. Т. Бакка. — СПб. : Санкт-Петербургский горный ин-т, 1997. — 428 с.

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО СПОСОБУ ВИЛУЧЕННЯ МОНОЛІТІВ КАМЕНЯ ПРИ ПРОВЕДЕННІ КАПІТАЛЬНИХ ТРАНШЕЙ

Розраховано зусилля необхідні для перекидання або відсунення моноліту від масиву залежно від кута буріння або

різання тильної сторони моноліту. Представлений випадок перекидання моноліту природного каменю з використанням гідравлічних домкратів, а відсунення за допомогою бульдозерів або фронтальних навантажувачів. Визначено оптимальний кут буріння тильної сторони моноліту для максимального ухилу капітальної траншеї.

Ключові слова: моноліт, кут, буріння, зусилля, перекидання.

Коробійчук Валентин Вацлавович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра розробки родовищ корисних копалин ім. проф. Бакка М. Т., Житомирський державний технологічний університет, Україна, e-mail: kgtkv2@rambler.ru.

Іськов Сергій Станіславович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра маркшейдерії, Житомирський державний технологічний університет, e-mail: serga.iskov@rambler.ru.

Коробійчук Валентин Вацлавович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра розробки родовищ корисних копалин ім. проф. Бакка М. Т., Житомирський державний технологічний університет, Україна.

Іськов Сергій Станіславович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра маркшейдерії, Житомирський державний технологічний університет, Україна.

Korobiychuk Valentine, Zhytomyr State Technological University, Ukraine, e-mail: kgtkv2@rambler.ru.

Iskov Sergey, Zhytomyr State Technological University, Ukraine, e-mail: serga.iskov@rambler.ru

УДК 656

Лобашов А. О.,
Бурко Д. Л.

ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ АВТОМОБИЛИЗАЦИИ НА ПАРАМЕТРЫ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

Представлен подход к определению уровня автомобилизации в городах, отличающийся от существующих учетом совокупности факторов, учитывающих покупательную способность населения, количество жителей. Определены коэффициенты роста, влияющие на изменение корреспонденций в транспортной сети. Приведены зависимости параметров транспортных потоков от уровня автомобилизации.

Ключевые слова: уровень автомобилизации, транспортный поток, транспортная сеть, коэффициент загрузки.

1. Введение

Обострение транспортных проблем в крупнейших городах мира, и Украины в частности, связано с увеличением парка индивидуальных транспортных средств [1]. При этом данное явление проходит на фоне отставания развития транспортных сетей от потребностей дорожного движения. Количество транспортных средств индивидуальных владельцев принято сопоставлять с уровнем автомобилизации. Поэтому разработка подхода по определению данного показателя и его влияния на параметры транспортных потоков является актуальной.

2. Анализ исследований и публикаций

Анализ работ по данной проблеме, свидетельствует об использовании различных подходов к определению

уровня автомобилизации. В работах [2, 3] для расчета данного показателя предложено использование методов экстраполяции данных, результатов построения раструбов прогноза, а также моделей, основанных на многофакторной корреляции [2, 3]. В исследовании [3] уровень автомобилизации предложено определять в зависимости от прогноза роста валового регионального продукта, с одной стороны, и на основе возможностей городской транспортной инфраструктуры был выполнен прогноз уровня автомобилизации легковых автомобилей. В работе [4] данный показатель определяется на основании значения душевого дохода.

Уровень автомобилизации связан с характеристиками транспортных потоков, исследованию которых посвящены работы [5–10].

Характеристики транспортных потоков, в свою очередь, взаимосвязаны с параметрами транспортной сети