

УДК 622.026.5

Чан Куанг Хиеу, В.А. Белин

**АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ
ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНЫХ И СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ
НА УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗАХ «НУИБЕО» ВО ВЬЕТНАМЕ**

Рассмотрены инженерно-геологические и горнотехнические условия действующих и проектируемых угольных карьеров Вьетнама; совершенствование методов управления энергией взрыва, позволяющих без увеличения энергозатрат достигать требуемой степени дробления пород с одновременным снижением влияния УВВ и сейсмических волн на окружающую среду, обеспечивающего уменьшение опасной зоны взрыва. Рассматриваемые вопросы являются весьма актуальной научно-практической задачей в условиях Вьетнама.

Ключевые слова: ударные воздушные волны (УВВ), сейсмические волны, открытая разработка месторождений, угольный разрез, буровзрывные работы БВР, Вьетнам.

Разрез «Нуибео» расположен на севере КуангНинх во Вьетнаме. Глубина разреза достигает более 130 м, а откосы уступов представляют собой крутые склоны с углом наклона до 70–75° в средней и нижней частях и с углом наклона 50–60° в верхней части. Высота бортов карьера в предельном положении достигает 10–20 м. Вертикально карьер пересекает разлом разрушенных пород с глинистыми прослойками шириной 20–30 м. В основании карьера в нижней части находится мягкая глинистая порода-окисленная руда. Борта карьера слагают в основном скальные породы: кварц-слюдисто-карбонатные метасоматиты (первичная руда) с коэффициентом крепости $f = 9 \div 13$ по шкале проф. М.М. Протождьяконова; углеродистые металевролиты $f = 9$; углеродистые кварц-мусковитые сланцы $f = 7 \div 8$ и т.д. Породы имеют различные виды трещиноватости и направление простирания трещин с углами наклона

как внутрь карьера, так и наружу.

Горно-геологическая структура карьера предполагает необходимость достижения минимизации сейсмического воздействия массовых взрывов на откосы уступа, так как это является основным фактором достижения большей глубины разработки.

Вблизи места производства взрывных работ на северо-западном участке разреза «Нуибео» на расстояниях 100 ÷ 500 м от жилых домов и других объектов. В августе 2006 г. на северо-западном участке борта разреза «Нуибео» были обнаружены деформации, трещинообразование и разрушение горных пород. Вследствие этих и других сопутствующих сложных физико-механических процессов из-за неустойчивого состояния нижней части откоса в 2006 году произошел оползень горного массива в сторону днища карьера, что привело к временной остановке добычи угля на этом участке разреза.

В связи с этим в данной работе проводятся экспериментально-расчетные исследования по определению безопасных параметров сейсмических волн и УВВ на элементах зданий, жилых домов и других объектов на пути распространения волн при производстве массовых взрывов и определение рациональных параметров БВР в летний и зимний периоды. Для реализации этой цели была произведена серия опытно-промышленных массовых взрывов в горном массиве вышеуказанного участка карьера «Нуибео» в сроки с 18.07.07 г. по 27.07.07 г. (летний) и 12.12.07 г. по 29.12.07 г. (зимний) [1, 2] в период авторского надзора. В этих натурных экспериментах были измерены величины скорости смещения и ускорения пород и фундаментов ряда сооружений, на различных расстояниях от точки взрыва, в основном, в 100–500 метровой зоне воздействия взрывов.

Запись сейсмических колебаний проводилась на флеш-карту с последующей перезаписью в память ноутбука и распечаткой сейсмограмм на принтере. Регистрировалась скорость сейсмических колебаний по трем взаимно-перпендикулярным осям. Всего записаны сейсмограммы от 57 взрывов [1, 2]. Измерения проводились с использованием отечественного регистратора сейсмических сигналов «Blasmate III», применяемый для измерений сейсмический регистратор изображен на рис. 1.

Взорванные блоки были забурены скважинами диаметром 250 мм. Применялась прямоугольная и квадратная сетки скважин от 8,5х7,5 м до 9,0 х 8,5 м с глубиной скважин от 10 м до 18 м (рис. 2).

Конструкция зарядов ВВ, в основном, сплошная с коэффициентом заполнения скважины взрывчатым



Рис. 1. Сейсмический регистратор «Blasmate III»

веществом от 0,5 до 0,7. Использовались гранулированные ВВ, ANFO, ГРАММОНИТ 79/21.

Внутрискважинная сеть монтировалась с использованием изделий скважинных неэлектрических систем инициирования, поверхностная с использованием изделий поверхностных неэлектрических систем инициирования (17, 25, 42 мс).

Анализ сейсмологической информации и УВВ, обработка записей взрывов проводилась с помощью специализированной программы «Blastware 10». Программа обработки позволяет работать с файлами, созданными программой регистрации и сбора сейсмических данных. Определение вибросмещений или виброскоростей проводилось численными методами с использованием операции интегрирования (рис. 3).

В процессе подготовки к взрывам согласно [3, 4] необходимо было выбрать величины зарядов ВВ, число групп, время замедления, схемы взрывания и места замеров параметров сейсмической и УВВ. Эти параметры взрыва совместно с измеряе-

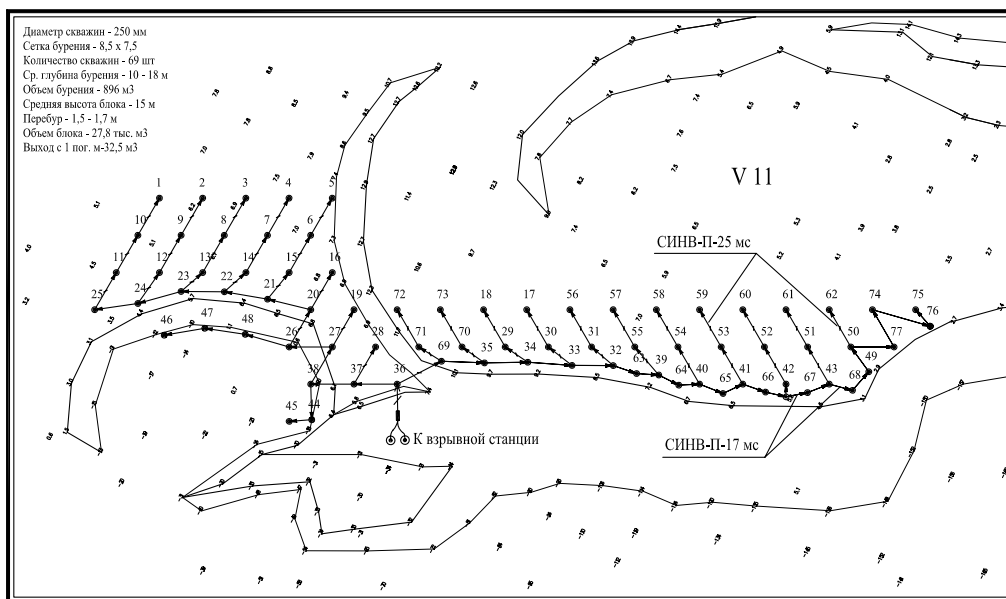


Рис. 2. Схема взрывной сети первого взрыва 18.07.2007 г. – в разрезе «Нуибео»

мыми на местах исследуемых объектов параметрами волн позволяют построить эмпирические кривые для определения допустимых весов заряда в зависимости от безопасных расстояний, обеспечивающих нормальную эксплуатацию комплекса жилых домов и других объектов.

Для оценки безопасных расстояний при воздействии сейсмозрывных волн, генерируемых при производстве взрывных работ, необходимо знать зависимость массовой скорости породы V в районе расположения указанного объекта от приведенного расстояния $\bar{R} = R / \sqrt[3]{Q}$ (R – расстояние от места взрыва до места измерения в м; Q – мощность зарядов ВВ в кг).

Зависимость массовой скорости породы от R может быть получена на основе результатов натурных измерений параметров сейсмозрывных волн при проведении массовых взрывов. Полученная таким путем экспериментальная зависимость дает воз-

можность определить предельно допустимые мощности зарядов ВВ в зависимости от различных расстояний, обеспечивающих нормальную эксплуатацию жилого массива.

Результаты натуральных измерений параметров сейсмических волн, при проведении БВР на угольных разрезах «Нуибео» в летнее и зимнее время 2007 г. [1, 2] представлены в виде кривой в координатах $V = V(\bar{R})$ на рис. 4.

Изучение поведения кривой $V = V(\bar{R})$ (рис. 4) показывает, что она достаточно хорошо аппроксимируется зависимостями:

$$V = 1679,4\bar{R}^{-1,467}$$

при $10 \leq \bar{R} \leq 90$, $10 \leq V \leq 30$ (мм/с)
– летний (1)

$$V = 1483,6\bar{R}^{-1,465}$$

при $10 \leq \bar{R} \leq 90$, $10 \leq V \leq 25$ (мм/с)
– зимний (2)

Date/Time Vert at 14:12:58 September 16, 2006
 Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
 Range Geo: 254 mm/s
 Record Time 5.0 sec at 1024 sps
 Job Number: 1

Serial Number BC7496 V 8.01-8.0 MiniMate Plus
 Battery Level 6.1 Volts
 Calibration December 15, 2000 by Instantel Inc.
 File Name H995BUIK.TM0
 Scaled Distance 6.5 (370.0 m, 3290.0 kg)

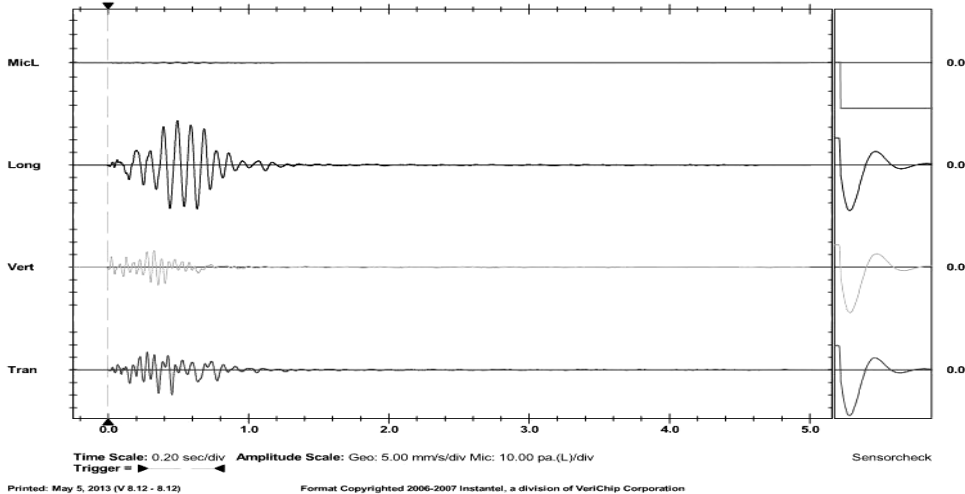
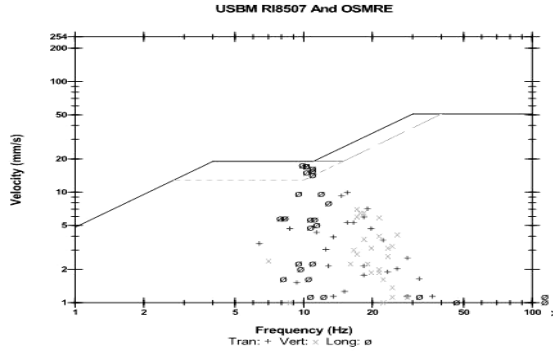
Notes
 Location HA LONG - QUANG NINH
 Client CONG TY THANH NUI BEO
 User Name: BM KHAI THAC LO THIEN
 General: KET QUA DO THU NGHIEM

Post Event Notes
 Vi tri bai noi: Via 14. Cao do bai noi +63/+48; Cao do diem do +60,5; Q = 3.290 Kg; q = 0,405 kg/m³; f = 10-12; L = 370 m; d = 230 mm; Huong khoi no cung huong do; Chua phan nhom.

Microphone Linear Weighting
 PSPL 0.750 pa.(L) at 0.431 sec
 ZC Freq 18 Hz
 Channel Test Check (Freq = 0.0 Hz Amp = 0 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	9.91	7.11	17.7	mm/s
ZC Freq	16	17	9.8	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.453	0.355	0.493	sec
Peak Acceleration	0.0928	0.0928	0.133	g
Peak Displacement	0.0934	0.0653	0.274	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.7	7.5	7.7	Hz
Overwing Ratio	3.9	3.5	3.5	

Peak Vector Sum 18.1 mm/s at 0.635 sec



Printed: May 5, 2013 (V 8.12 - 8.12)

Format Copyrighted 2006-2007 Instantel, a division of VeriChip Corporation

Рис. 3. Сейсмограмма взрыва с помощью специализированной программы «Blastware 10» (V_x - Tran; V_y - Vert; V_z - Long)

Таким образом, задавая допустимым значением $V = V_{\text{пор}}$ пороговой скорости смещения породы из формулы (1, 2) можно определить соответствующие допустимые значения мощности зарядов $Q_{\text{гд}}$ в зависимости от расстояния R . Тогда из (1, 2) при значениях $V = V_{\text{пор}}$ получим:

$$Q_{\text{гд}} = \left(\frac{V_{\text{пор}} R^{1,467}}{1679,4} \right)^{2,044}$$

при $10 \leq V \leq 30$ (мм/с) – летний (3)

$$Q_{\text{гд}} = \left(\frac{V_{\text{пор}} R^{1,465}}{1483,6} \right)^{2,047}$$

при $10 \leq V \leq 25$ (мм/с) – зимний (4)

где $Q_{\text{гд}}$ – в килограммах, R – в метрах

Для случаев $V_{\text{пор}} = 15 \div 25$ мм/с в табл. 1, проведем расчеты допустимой мощности зарядов $Q_{\text{гд}}$ в зависимости от расстояния R до охраняемого объекта в летнее и зимнее время.

Результаты расчетов по формулам (3) и (4) приводятся в табл. 1.

Результаты натуральных измерений

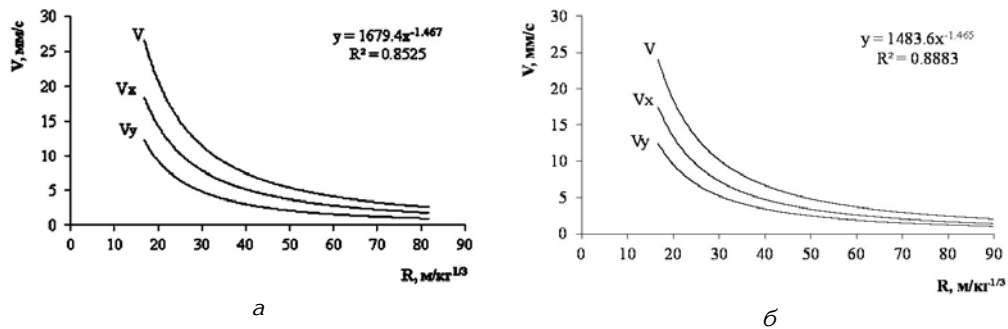


Рис. 4. Экспериментальные кривые горизонтальной V_x , вертикальной V_y и общей скорости V горного массива в зависимости от приведенного расстояния \bar{R} при взрывах на угольных разрезах «Нуибео» (а – летний; б – зимний)

Таблица 1

Максимальные величины зарядов на ступень замедления в зависимости от расстояния до охраняемого объекта при $V_{пор} = 15, 20, 25$ мм/с

R (м)		100	150	200	250	300	350	400	450	500
$V_{пор} = 25$ мм/с										
летний	$Q_{гр}$	183	619	1.467	2.865	4.951	7.863	11.737	16.711	22.923
зимний	(кг)	234	788	1.869	3.650	6.308	10.016	14.952	21.289	29.203
$V_{пор} = 20$ мм/с										
летний	$Q_{гр}$	116	392	930	1.816	3.137	4.982	7.436	10.588	14.524
зимний	(кг)	148	499	1.183	2.311	3.994	6.343	9.468	13.480	18.491
$V_{пор} = 15$ мм/с										
летний	$Q_{гр}$	65	218	516	1.008	1.742	2.766	4.129	5.879	8.065
зимний	(кг)	82	277	657	1.282	2.216	3.519	5.253	7.479	10.259

избыточных давлений ΔP_f УВВ, при проведении БВР на угольных карьерах «Нуибео» в летнее и зимнее время 2007 г. представлены в виде кривой в координатах $(\Delta P_f, \bar{R})$ на рис. 5.

Анализ и обобщение результатов натуральных измерений параметров УВВ при массовых взрывах в разрезе «Нуибео» показывают, что графики изменения скорости смещения элементов зданий, сооружений и горной породы, а также избыточного давления на фронте УВВ в зависимости от приведенного расстояния \bar{R} имеют нелинейно-затухающий характер (рис. 5)

величины избыточного давления подчиняются закону:

$$\Delta P_f = 0,0146\bar{R}^{-1,18} \text{ кг/см}^2$$

$$\text{при } 15 \text{ м/кг}^{1/3} \leq \bar{R} \leq 70 \text{ м/кг}^{1/3}$$

– летний (5)

$$\Delta P_f = 0,011\bar{R}^{-1,13} \text{ кг/см}^2$$

$$\text{при } 17 \text{ м/кг}^{1/3} \leq \bar{R} \leq 80 \text{ м/кг}^{1/3}$$

– зимний (6)

– При этом формула (5, 6) соответствует диапазону изменения избыточного давления $20 \leq \Delta P_f < 70$ Па.

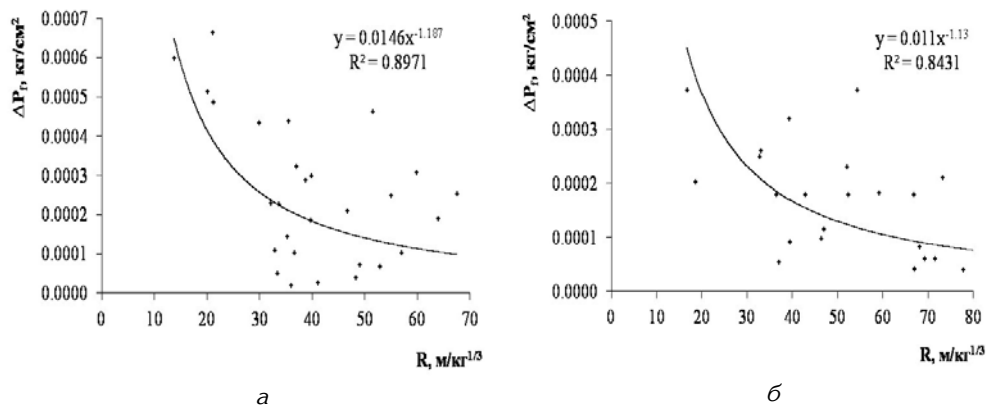


Рис. 5. Величина избыточного давления в зависимости от приведенного расстояния (а – летний; б – зимний)

Тогда из (5, 6) при $\Delta P_f = \Delta P_{fпор}$ можно получить следующие зависимости величин мощности подрываемого заряда в зависимости от расстояния:

$$Q_{пор} = \left(\frac{\Delta P_{fпор}}{0,0146} \right)^{2,54} R^3 - \text{летний.} \quad (7)$$

$$Q_{пор} = \left(\frac{\Delta P_{fпор}}{0,011} \right)^{2,65} R^3 - \text{зимний.} \quad (8)$$

Для случаев $\Delta P_f = \Delta P_{fпор} = 20\text{--}60$ Па в табл. 2, проведем расчеты допустимой мощности зарядов $Q_{пор}$ в зависимости от расстояния R до охраняемого объекта в летнее и зимнее время.

Сравнение величин допустимых мощностей взрывов, полученных на воздействия воздушных (табл. 2) и сейсмических волн (табл. 1) взрывов при выполнении критериальных условий $V_{пор} = 15$ мм/с и $\Delta P_{fпор} = 60$ Па, показывает, что в данном случае величины сейсмобезопасных мощностей взрывов получаются минимальными и потому они являются определяющими при проектирова-

нии БВР массовых взрывов на карьерах.

На основании выполненного экспериментального исследования и сравнительного анализа результатов натуральных измерений параметров УВВ и сейсмических волн при проведении БВР на угольных разрезах «Нуибео» во Вьетнаме были получены основные научные результаты и сделаны выводы:

- принятая пороговая скорость смещения является минимальной для зданий и сооружений исследуемого района и обеспечивает безопасность работы приборов и аппаратуры, находящихся в здании во время проведения массовых взрывов в 100÷500 метровой зоне вблизи их расположения. Тогда для определения допустимой мощности зарядов, в зависимости от расстояний, рекомендуется использовать результаты табл. 1, которые с точки зрения сейсмозффекта являются безопасными для эксплуатации вышеуказанных комплексов при проведении БВР на угольных разрезах «Нуибео».

Таблица 2

Пороговые значения допустимой мощности заряда $Q_{\text{пор}}$, кг, в зависимости от расстояния R , м при $\Delta P_{\text{пор}} = 20$ и 60 Па

R, м		100	150	200	250	300	350	400	450	500
$\Delta P_{\text{пор}} = 60$ Па										
летний	$Q_{\text{пор}}$, кг	299	1.009	2.392	4.673	8.075	12.822	19.140	27.252	37.383
зимний		443	1.495	3.543	6.920	11.957	18.987	28.343	40.355	55.357
$\Delta P_{\text{пор}} = 50$ Па										
летний	$Q_{\text{пор}}$, кг	188	635	1.505	2.939	5.079	8.066	12.040	17.143	23.516
зимний		273	921	2.183	4.264	7.369	11.702	17.467	24.870	34.116
$\Delta P_{\text{пор}} = 40$ Па										
летний	$Q_{\text{пор}}$, кг	107	360	853	1.667	2.880	4.574	6.827	9.721	13.335
зимний		151	509	1.207	2.358	4.075	6.471	9.659	13.753	18.866
$\Delta P_{\text{пор}} = 30$ Па										
летний	$Q_{\text{пор}}$, кг	51	173	411	802	1.386	2.201	3.286	4.678	6.417
зимний		70	237	563	1.099	1.899	3.015	4.500	6.408	8.790
$\Delta P_{\text{пор}} = 20$ Па										
летний	$Q_{\text{пор}}$, кг	18	62	146	286	494	785	1.172	1.669	2.289
зимний		24	81	192	374	647	1.027	1.534	2.184	2.996

- в результате сравнительного анализа табл. 1 видно, что в летних климатических условиях предельно допустимая мощность взрыва уменьшается приблизительно в 1,3–2 раза.

- в результате сравнительного анализа табл. 2 видно, что в летних климатических условиях предельно

допустимая мощность взрыва уменьшается приблизительно в 1,45–2,2 раза.

Предлагаемые разработки и рекомендации по безопасным параметрам взрывов в дальнейшем были использованы и внедрены при взрывной обработке горного массива на угольных разрезах во Вьетнаме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Установление параметров массовых взрывов на угольных карьерах «Нуибео», обеспечивающих безопасную эксплуатацию комплекса зданий горнотранспортного предприятия при воздействии сейсмических и воздушных волн. Итоговый отчет по второму этапу работ договора от 26.12.2006г. № 22-ХД с рудником «Нуибео» комбината «Винакомин», Ханой – Вьетнам-2006.
2. Установление параметров массовых взрывов на угольных карьерах «Нуибео», обеспечивающих безопасную эксплуатацию комплекса зданий горнотранспортного предприятия при воздействии сейсмических и воздушных волн, 2007.
3. Единые правила безопасности при взрывных работах. М., 2001 г. – 247 с.
4. Кузьменко А.А., Воробьев В.Д., Ленисюк И.И., Дауэкас А.А. Сейсмическое действие взрыва в горных породах. М: Недра, 1990 г. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Чан Куанг Хиеу – аспирант, ud@msmu.ru

Белин Владимир Арнольдович – доктор технических наук, профессор, Московский государственный горный университет, ud@msmu.ru



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (ПРЕПРИНТ)

ПРОБЛЕМА ГОЛЬДБАХА

Горбунов Валентин Алексеевич, доцент, кандидат технических наук.

Разбиение числовой оси на интервалы, границами которых являются члены праймориальных последовательностей системы (1.1) позволяет на этих интервалах натуральные числа разбить на два множества. Для интервала $(0; p_k^{\#})$ в первое множество (обозначаемое $\{N_{p_k^{\#}}\}$) входят простые числа, образующие праймориал $p_k^{\#}$ и числа, кратные множителям праймориала. Во второе множество (обозначаемое $\{N_{\varphi}\}$) входят числа взаимно простые с праймориалом $p_k^{\#}$. Сюда входят: единица, все простые числа p_i интервала $(p_k; p_k^{\#})$ и составные числа q_i , являющиеся всевозможными произведениями простых чисел p_i и удовлетворяющими условию $q_i \in (0; p_k^{\#})$. Количество элементов множества $\{N_{\varphi}\}$ определяется функцией Эйлера и равно $\varphi(p_k^{\#})$.

Ключевые слова: проблема Гольдбаха, множества, праймориал.

COLDBACH CONJECTURE

Gorbunov V.A.

Splitting a number line into intervals the limits of which are members of primorial sequences of system (1.1) allows natural numbers within these intervals to be grouped into two sets. In the interval $(0; p_k^{\#})$ the first set (denoted by $\{N_{p_k^{\#}}\}$) includes prime numbers of primorial $p_k^{\#}$ and numbers divisible by prime factors of the primorial. The second set (denoted by $\{N_{\varphi}\}$) includes numbers that are coprime to the primorial $p_k^{\#}$: unit, all primes p_i of the interval $(p_k; p_k^{\#})$ and composite numbers q_i which are various products of the primes p_i and fulfill the condition that $q_i \in (0; p_k^{\#})$. Cardinality of the set $\{N_{\varphi}\}$ is found using the Euler functions and equals $\varphi(p_k^{\#})$.

Key words: Goldbach conjecture, sets, primorials.