

ГРИБ Н. Н., ТЕРЕЩЕНКО М. В., ГРИБ Г. В. (Технический институт (филиал) Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова, г. Нерюнгри)

ПАЗЫНИЧ А. Ю. (ОАО «Холдинговая компания «Якутуголь»), г. Нерюнгри)

ПРОГНОЗ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВОВ НА ПРОИЗВОДСТВЕННУЮ ИНФРАСТРУКТУРУ

Вопрос прогнозирования степени сейсмического воздействия промышленных взрывов на производственную инфраструктуру имеет важное значение при разработке полезных ископаемых открытым способом. В нашем случае интерес к этой проблеме определяется необходимостью обеспечения безопасности ведения горных работ при достаточной их эффективности в районе расположения охраняемых объектов ОАО ХК «Якутуголь», находящихся в зоне влияния горных работ разреза «Нерюнгринский».

Из выполненных экспериментальных исследований установлено, что природные факторы влияют на интенсивность сейсмического эффекта, но не являются определяющими, тем не менее такие, как обводненность, многолетняя и сезонная мерзлота горных пород, должны учитываться при проектировании буровзрывных работ. Главным образом скорость колебания грунта в точках наблюдений зависит прежде всего от массы заряда ВВ, максимальной в группе, и гипоцентрального расстояния, т.е. расстояния от места (области) внутри блока, где начинаются разрушение, трещинообразование горных пород, возникают сейсмические волны при взрыве и распространяются до точки регистрации, а также масштаба массовых взрывов.

В связи с этим для обеспечения достоверности и надежности прогноза сейсмического действия взрывов на охраняемые объекты для повышения эффективности технологии ведения буровзрывных работ в Нерюнгринском разрезе возникла необходимость в разработке методики, в основе которой лежали бы закономерности, связывающие сейсмические движения при взрыве с характеристиками взрыва и гипоцентральной расстоянием. Полученная по результатам экспериментальных исследований зависимость была реализована в алгоритме при разработке прикладной программы «SeismPrognoz», позволяющей оперативно производить вычисления максимальной векторной скорости смещения грунта, массы заряда взрывчатого вещества (ВВ) максимальной в группе, безопасного расстояния, общей массы заряда ВВ и использовать полученную информацию для расчета паспорта буровзрывных работ конкретного блока.

Ключевые слова: Взрыв, промышленная инфраструктура, сейсмическое действие, вес заряда, максимальная векторная скорость, допустимая скорость колебания грунта, программа, алгоритм.

Необходимость углубленного изучения проблем сейсмичности промышленных взрывов является следствием создания в последние годы высокопроизводительных буровых установок для открытых и подземных разработок, позволяющих за относительно короткий промежуток времени обуривать значительные объемы массива горных пород, что повлекло за собой возникновение ряда новых технологических схем разработки месторождений полезных ископаемых [1], принципиальной особенностью которых является резкое увеличение массы одновременно взрывающихся зарядов взрывчатого вещества (ВВ) [2]. Эта особенность поставила перед наукой о взрыве ряд принципиально новых задач по оценке сейсмического действия взрыва [3], традиционное решение которых на основе

правил безопасности при взрывных работах [4] хотя и обеспечивало их безопасность, но не позволяло достаточно эффективно осуществлять последующие технологические процессы.

Таким образом, практические задачи оценки сейсмического действия взрыва, возникшие как следствие развития средств производства, послужили мощным стимулом для развития научных исследований по изучению сейсмического действия промышленных взрывов в горных породах и разработки инженерных методов снижения его вредных эффектов [5, 6]. За последнее время благодаря пристальному вниманию ученых, инженеров и практиков к данной проблеме [7] успешно решены многие ее вопросы [8, 9]. В результате выполнения многочисленных



экспериментальных и теоретических работ созданы принципиально новые положения о сейсмическом действии взрывов при короткозамедленном взрывании. Разработаны новые рекомендации по оценке устойчивости промышленных и гражданских зданий и сооружений, подземных целиков и бортов карьеров, изучены особенности сейсмического действия взрывов при совмещенном ведении открытых и подземных горных работ, экранировании энергии сейсмических волн, созданы научные основы управления сейсмическим эффектом взрывов при ведении самых разнообразных горных работ [10, 2, 11].

Несмотря на определенные успехи в решении проблем сейсмики промышленных взрывов, в этой области возникли новые серьезные теоретические и практические задачи, решение которых может оказаться чрезвычайно полезным для дальнейшей разработки методов управления сейсмическим действием взрывов, технологических приемов выполнения взрывных работ в промышленности и создания средств контроля за процессами развития взрыва [12]. К числу таких задач следует прежде всего отнести проблему выявления природы источника сейсмических колебаний, решение которой может послужить основой для создания технологических методов управления энергией взрыва и получения информации о явлениях, происходящих в твердой среде на различных стадиях ее разрушения [13].

Применение крупномасштабных промышленных взрывов на открытых горных работах, в гидротехническом строительстве и при подземной разработке месторождений полезных ископаемых подтверждает необходимость более глубокого изучения особенностей сейсмического действия взрывов в зависимости от различных горно-геологических и технологических особенностей производства этих работ. При этом важным направлением исследований по сейсмике промыш-

ленных взрывов остается определение сейсмобезопасных условий производства взрывных работ с установлением критически допустимых деформаций, смещений зданий, строительных конструкций [14], обнажений горных пород, горных выработок [15]. От результатов этих работ в значительной степени зависит разработка проблемы инженерной сейсмологии.

Особое место в современной проблематике сейсмики промышленных взрывов должно быть отведено действию взрывов в сезонно и многолетнемерзлых горных породах. Ряд специфических особенностей сейсмики промышленных взрывов, характерных для этих условий, выдвигают проблему изучения сейсмики промышленных взрывов в число первоочередных.

В нашем случае интерес к этой проблеме определяется необходимостью обеспечения безопасности ведения горных работ на разрезе «Нерюнгринский» при достаточной их эффективности в районе расположения охраняемых объектов ОАО ХК «Якутуголь», находящихся в зоне многолетнемерзлых пород.

Экспериментальными исследованиями установлено, что природные факторы влияют на интенсивность сейсмического эффекта, но не являются определяющими, тем не менее такие, как обводненность, многолетняя и сезонная мерзлота горных пород, должны учитываться при проектировании буровзрывных работ [16]. Главным образом, скорость колебания грунта в точках наблюдений зависит прежде всего от массы заряда W , максимальной в группе (Q_{max}), и R – гипотенузы расстояния, т.е. расстояния от места (области) внутри блока, где начинаются разрушение, трещинообразование горных пород, возникают сейсмические волны при взрыве и распространяются до точки регистрации, а также от масштаба массовых взрывов [17].



В связи с этим для обеспечения достоверности и надежности прогноза сейсмического действия взрывов на охраняемые объекты и повышения эффективности технологии ведения буровзрывных работ в Нерюн-гринском разрезе, возникла необходимость в разработке методики, в основе которой лежали бы закономерности, связывающие сейсмические движения при взрыве с характеристиками взрыва и гипоцентрального расстоянием. Закономерности и методика должны удовлетворять следующим требованиям:

1. Закономерности должны быть:

а) достаточно просты и включать минимальное число характеристик взрыва и среды;

б) достаточно устойчивы по отношению к вариациям условий взрыва и среды, т.е. включать в себя достаточно консервативные величины;

в) включать в себя такие параметры движения, которые наиболее тесным образом связаны с главным вопросом сейсмологии взрыва: с параметрами сейсмических волн, способных вызвать повреждения конструкций

2. Методика должна позволять оперативно производить вычисления массы заряда ВВ, максимальной в группе, безопасного расстояния, максимальной векторной скорости смещения грунта, общей массы заряда и использовать полученную информацию для расчета паспорта буровзрывных работ.

В процессе экспериментальных исследований было проведено изучение сейсмического воздействия от массовых взрывов на здания обогатительной фабрики (ОФ), административно-бытового комбината разреза (АБК) и автобазы технологического автотранспорта (АТА). Были обработаны записи взрывов 54 блоков, расположенных практически по всему полю разреза (как по вертикали, так и по фронту), где велись горные работы.

Несмотря на сложность сейсмических движений при взрыве необходимо установить закономерности, связывающие интенсивность сотрясений массива горных пород с параметрами взрыва и расстояниями от места взрыва до охраняемого объекта. В качестве основного параметра сейсмической опасности принято считать скорость колебаний частиц грунта.

На основании результатов значительного числа инструментальных наблюдений за взрывами академиком М.А. Садовским была установлена следующая зависимость, которая нашла широкое применение в практике [8]:

$$U = K_{1,5} \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{r} \right)^{1,5} = K \rho^{1,5}, \quad (1)$$

где U – амплитуда скорости смещения; r – расстояние между пунктом наблюдения и местом взрыва; $K_{1,5}$ – коэффициент пропорциональности при показателе 1,5;

$\rho = \frac{\sqrt[3]{Q}}{r}$ – приведенный вес заряда ВВ.

Следует отметить, что разрушение сооружений наступает лишь в тех случаях, когда скорость смещения превосходит некоторую допустимую величину скорости колебаний $U_{\text{доп}}$, характерную для сооружений данного типа. Допустимые скорости в основании зданий и сооружений определяются их конструктивными особенностями, состоянием и динамическими характеристиками.

Общий принцип охраны сооружений определяется соотношением

$$U_{\text{xyz}} \leq U_{\text{доп}},$$

где U_{xyz} и $U_{\text{доп}}$ – возможная (фактическая) и допустимая скорости колебания грунтов при взрывах, см/с.

Результаты многократных исследований дают основание в качестве нормативной критической скорости смещения грунта при однократном взрыве принять величину



10 см/с. В случае многократных взрывов расчетная критическая скорость грунта у основания зданий должна быть существенно снижена. В этом случае критическая скорость колебаний грунта принимается равной 3 см/с [8].

По результатам инструментальных наблюдений, допустимую скорость колебаний грунта в основании АБК и ОФ следует принять равной 1,25 см/с, а для АТА – 1,7 см/с, что незначительно отличается от данных ранее выполненных исследований [18].

Согласно ранее проведенным исследованиям [19] скорость смещения грунта для условий разреза «Нерюнгринский» определялась следующей зависимостью:

$$U_{xyz} = (144 \pm 88)\rho^{1.5}. \quad (2)$$

При использовании данной зависимости получены удовлетворительные результаты, т.е. на 77 % скорости колебаний грунта в основании сооружений на площадке были больше, чем определяемые натурными наблюдениями.

Исходя из указанной величины достоверной информации можно сделать вывод, что не будет обеспечена достаточно надежная степень безопасности охраняемых объектов, и использование полученной зависимости (2) ведет к неэффективности ведения горных работ.

В связи с этим для обеспечения достоверности прогноза сейсмического воздействия массовых взрывов на охраняемые объекты для технологии ведения буровзрывных работ в разрезе «Нерюнгринский» была экспериментально установлена зависимость, которая связывает закономерности сейсмических движений грунта в основании здания при взрыве с характеристиками взрыва и расстоянием:

$$U_{xyz} = 0,1969\rho_{Q_{\max}}^3 + 1,866\rho_{Q_{\max}}^2 - 3,59\rho_{Q_{\max}} + 1,6004. \quad (3)$$

Из выполненных экспериментальных исследований установлено, что скорость колебаний грунта в точках наблюдений зависит

прежде всего от веса заряда ВВ, максимального в группе ($\rho_{Q_{\max}}$), и R – гипоцентрального расстояния.

При короткозамедленном взрывании сейсмический эффект определяется весом заряда ВВ, максимальным в группе [8]. Поэтому для практических расчетов прогнозных значений амплитуд скоростей колебаний в зависимости от расстояния или веса заряда ВВ используется зависимость максимальной векторной скорости смещения грунта от приведенного веса заряда, максимального в группе.

При расчете приведенного веса заряда ВВ, максимального в группе ($\rho_{Q_{\max}}$), использовалось следующее выражение:

$$\rho_{Q_{\max}} = \sqrt[3]{Q/R},$$

где Q – вес заряда ВВ максимального в группе; R – гипоцентрального расстояние, которое учитывает пространственное положение заряда и направление инициирования рядов скважин, а следовательно, направление фронта сейсмозрывных колебаний.

На рис. 1 представлены поле корреляции и график зависимости между U_{xyz} и $\rho_{Q_{\max}}$:

$$U_{xyz}, \text{ см/с};$$

$$\rho_{Q_{\max}}, (\text{кг/м})^{1/3}.$$

Полученная по результатам экспериментальных исследований зависимость (3) была реализована в алгоритме при разработке прикладной программы «SeismPrognoz», позволяющей автоматизировать процесс расчета максимальной векторной скорости смещения грунта, веса приведенного заряда, максимального в группе, и общего веса приведенного заряда. Получаемые по результатам вычислений в SeismPrognoz параметры используются для расчета паспорта буровзрывных работ конкретного блока.



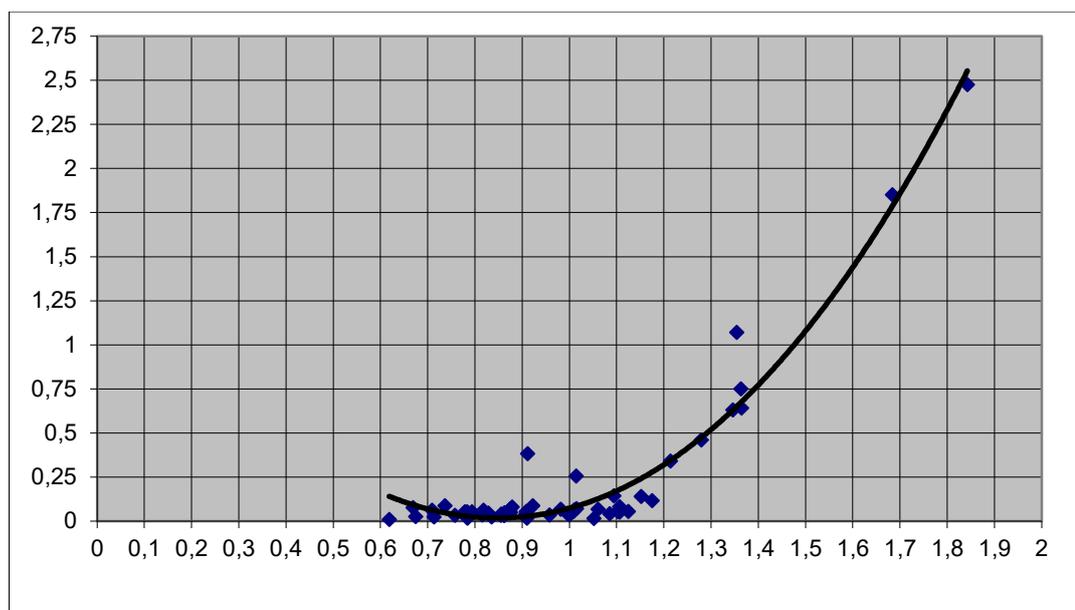


Рис. 1. Зависимость максимальной векторной скорости от приведенного веса заряда, максимального в группе – разрез «Нерюнгринский»

Применение указанного программного обеспечения позволяет оперативно выполнить оценку и прогноз сейсмической опасности промышленных взрывов на разрезе «Нерюнгринский». Решение указанной задачи обеспечивается за счет предоставляемого программой функционала:

- ✓ оценка допустимого веса заряда ВВ в группе при заданном расстоянии;
- ✓ оценка допустимого расстояния при заданном весе заряда ВВ в группе;
- ✓ прогнозирование значений амплитуд скоростей смещения грунта в зависимости от расстояния, веса заряда ВВ в группе;
- ✓ оценка допустимого расстояния, допустимого веса заряда ВВ в группе при заданной амплитуде скорости смещения грунта;

Оценка предельно допустимого веса заряда ВВ в группе осуществляется на основании введенного пользователем расстояния до охраняемого объекта или при задании смещения и массы заряда ВВ в группе. Значение смещения определяется либо в соответствии с приведенными выше допустимыми скоростями колебаний грунта в основании здания ОФ, АБК и АТА, либо

пользователем (в случае изменения критической скорости).

Расчет допустимого расстояния до охраняемого объекта возможен при задании пользователем веса заряда ВВ в группе или при задании смещения и веса заряда ВВ в группе.

Расчет допустимого расстояния осуществляется исходя из:

- ✓ определенного пользователем веса заряда ВВ в группе;
- ✓ предельно допустимого значения скорости колебаний грунта, определенного либо в соответствии с приведенными выше допустимыми скоростями колебаний грунта в основании охраняемых объектов, либо пользователем.

Результаты вычислений в программе версии 1.3.а приводятся в поле вывода с указанием значений соответствующего смещения и допустимого минимального расстояния для охраняемых объектов, а также допустимости такой комбинации значений.



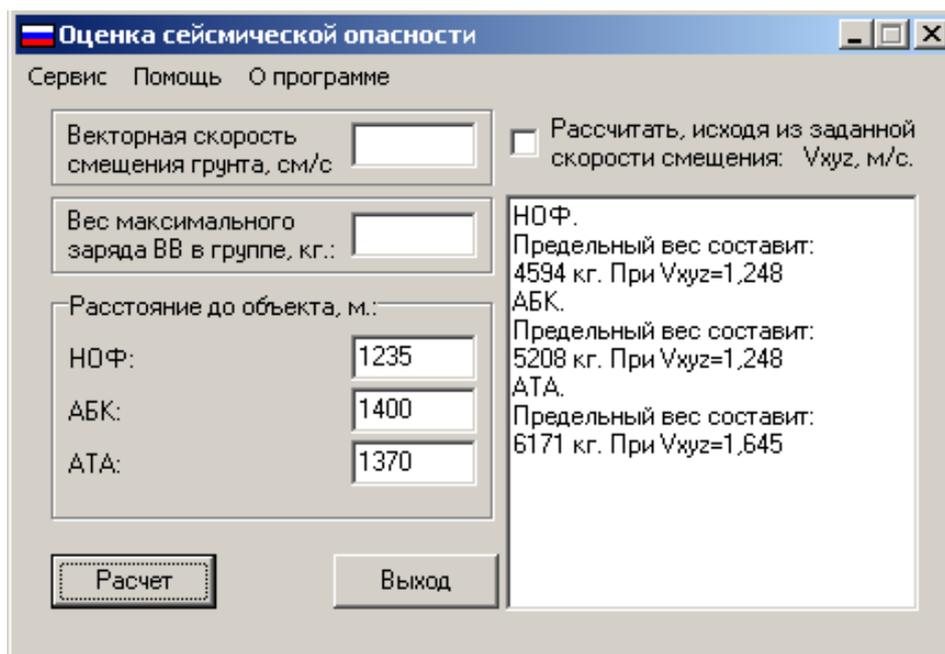


Рис. 2. SeismPrognoz – расчет предельно допустимого веса заряда ВВ

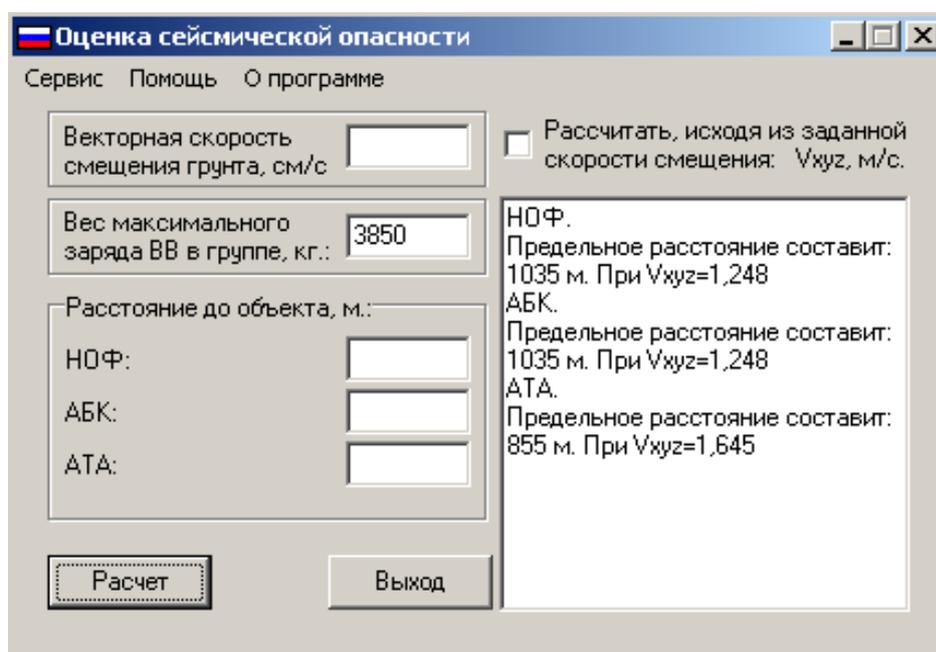


Рис. 3. SeismPrognoz – расчет предельно допустимого расстояния

Блок-схема программы SeismPrognoz приведена на рис. 4.

Данная методика позволяет, не раскрывая сущности многочисленных факторов, влияющих на интенсивность сотрясе-

ний и устойчивость сооружений, выполнить расчет сейсмического воздействия взрывов.

Учет влияния каждого отдельного фактора на интенсивность сотрясений позволил бы разработать более совершенные



методы управления интенсивностью сотрясений, способствуя усовершенствованию буровзрывных работ (БВР). Однако вследствие статистической природы практически невозможно учесть их совместное влия-

ние, не прибегая к помощи аппарата математической статистики и теории вероятностей, что в свою очередь ведет к идеализации моделей сейсмического воздействия взрывов на охраняемые объекты.

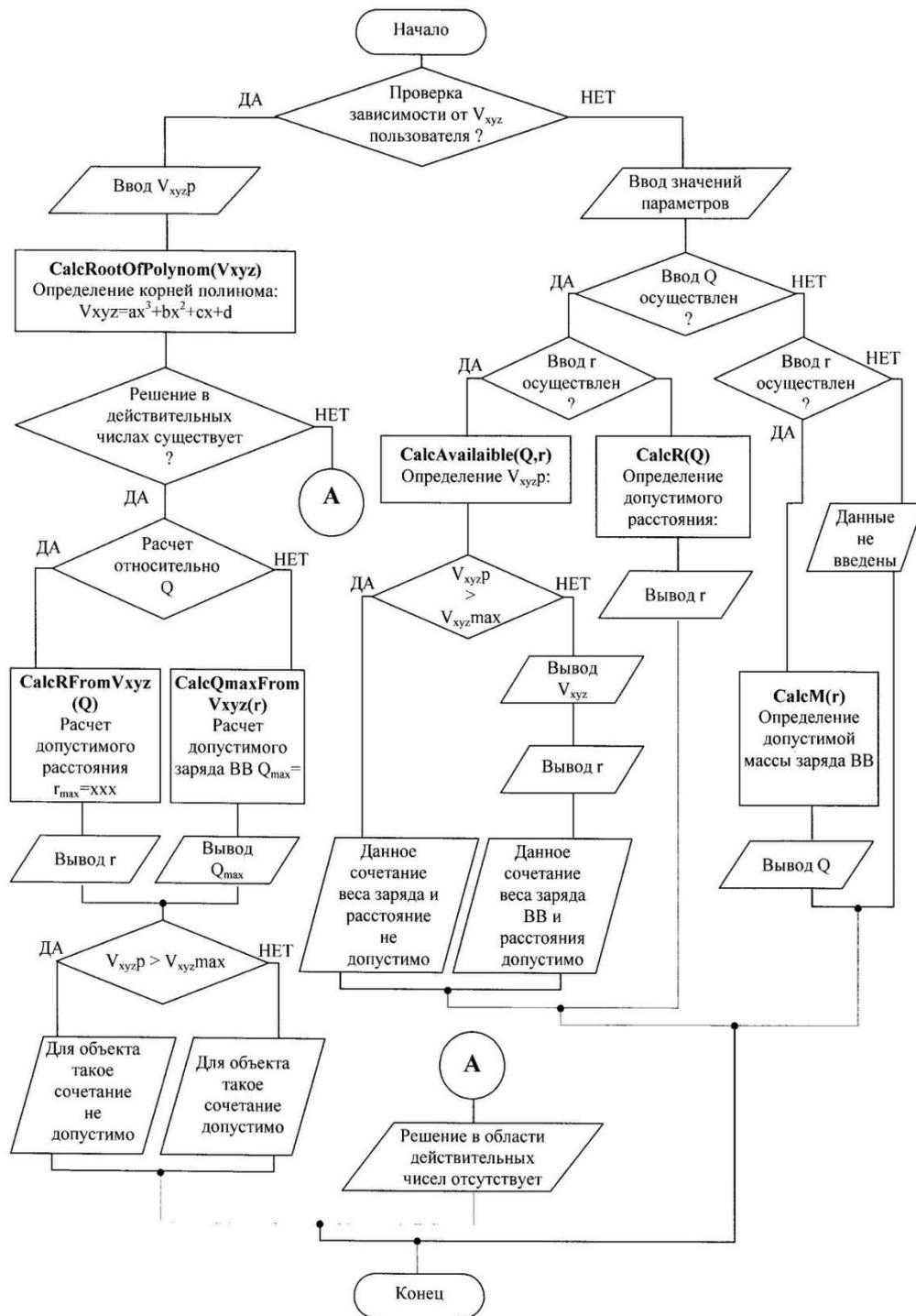


Рис. 4. Блок-схема программы SeismPrognoz



Тем не менее факторы, рассмотренные в работе [16], учитываются при проектировании БВР.

Технологический фактор [17], который вносит значимое влияние на сейсмический эффект от взрывов: «Влияния количества групп, скважин на сейсмический эффект массовых короткозамедленных взрывов» задается в рабочем окне программы SeismPrognoz при проектировании БВР для каждого конкретного блока.

Таким образом, разработанная методика с достаточной степенью достоверности позволяет рассчитывать максимальную векторную скорость, что дает возможность эффективно управлять безопасностью и технологией буровзрывных работ на разрезе «Нерюнгринский».

Библиографический список

1. Cardu, Marilena, Seccatore, Jacopo, Vaudagna, Alberto, Rezende, Alvaro, Galvão, Fabio, Bettencourt, Jorge, & Tomi, Giorgio de. (2015). Evidences of the influence of the detonation sequence in rock fragmentation by blasting – Part I. Rem: Revista Escola de Minas, 68(3), 337-342. <https://dx.doi.org/10.1590/0370-44672014680218>.
2. Сейсмическая безопасность при взрывных работах: Учеб. пособие / В.К. Совмен, Б.Н. Кутузов, А.Л. Марьясов и др. – М.: Издательство «Горная книга», 2012. – 229 с.
3. Woodward, K., Wesseloo, J.. (2015). Observed spatial and temporal behaviour of seismic rock mass response to blasting. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 115(11), 1044-1056. <https://dx.doi.org/10.17159/2411-9717/2015/v115n11a9>.
4. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах». Серия 13. Вып. 14. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2015. – 332 с.
5. Bo Qiu. Numerical study on vibration isolation by wave barrier and protection of existing tunnel under explosions. Civil Engineering. INSA de Lyon, 2014. English. <NNT : 2014ISAL0011>. <tel-

- 01127493>. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01127493>.
6. Yugo N, Shin W, Analysis of blasting damage in adjacent mining excavations, Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering(2015), doi: 10.1016/j.jrmge.2014.12.005.
7. Hustrulid W. A. (2005). Blasting Principles for Open Pit Mining, Set of 2 Volumes. CRC Press. Textbook – 1038 pages. ISBN 9789054104582.
8. Цейтлин Я.И., Смолий Н.И. Сейсмические и ударные воздушные волны промышленных взрывов. – М. Недра, 1981. – 192 с.
9. Сейсмическое действие взрыва в горных породах / А.А. Кузьменко, В.Д. Воробьев, И.И. Денисюк и др. – М.: Недра, 1990. – 173 с.
10. Безопасность сейсмического и воздушного воздействия массовых взрывов: Учеб. пособие для вузов / Б.Н. Кутузов, В.К. Совме, Б.В. Эквист и др. – М.: Издательство МГГУ, 2004. – 180 с.
11. Эквист Б.В. Сравнение результатов сейсмического воздействия взрывов скважинных зарядов с использованием схемы инициирования с помощью ДШ и СИНВ на карьере «Восточный» золотодобывающей компании «Полюс» Красноярского края // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск. ВЗРЫВНОЕ ДЕЛО. – 2007. – Вып. 8. – С.151-160.
12. Jinxing Lai, Haobo Fan, Jianxun Chen, Junling Qiu, and Ke Wang, “Blasting Vibration Monitoring of Undercrossing Railway Tunnel Using Wireless Sensor Network,” International Journal of Distributed Sensor Networks, vol. 2015, Article ID 703980, 7 pages, 2015. doi:10.1155/2015/703980.
13. Кишкина С. Б., Спивак А.А. Локальный сейсмический эффект карьерных взрывов / В сб. Физические процессы в геосферах: их проявления и взаимодействие. – М.: РАН, 1999. – С. 111–116.
14. F. W. Huang, D. Y. Liu, H. Luo, B. Liu, "Analysis on Attenuation-Amplification Effect and Vibration Monitoring of Pier-Beam of Continuous Beam Bridge under Near Blasting", Applied Mechanics and Materials, Vols. 353-356, pp. 1919-1922, 2013. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.353-356.1919.
15. Несмеянов Б.В. Прогнозирование скорости сейсмических колебаний при проектировании и производстве массовых взрывов в карьерах //



- Макшейдерия и недропользование. – 2011. – № 6. – С. 27–33.
16. Гриб Г.В., Пазынич А.Ю., Гриб Н.Н. Оценка влияния природных факторов на сейсмический эффект от массовых взрывов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук.– № 3(2). – 2013. – Том 15. – С. 626–630.
17. Гриб Г.В., Пазынич А.Ю., Гриб Н.Н. и др. Зависимость сейсмического действия взрыва в массиве горных пород от технологических условий ведения буровзрывных работ// Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Том 14. – № 1(8). – 2012. – С. 2112–2117.
18. Гриб Н.Н., Гриб Г.В., Сясько А.А., Качаев А.В. Сейсмическое воздействие массовых взрывов на природно-технические объекты// DOI: 10.12737/11331 Безопасность в техносфере. – 2015. – № 2(53). – С. 33–39.
19. Черных Е.Н. Экспериментальная оценка сейсмического действия массовых взрывов в разрезе «Нерюнгринский» на охраняемые объекты // DOI: 10.18411/svfu1230915-28 / Материалы Международной конференции «Геолого-геофизическая среда и разнообразные проявления сейсмичности». – Нерюнгри: Изд-во Технического института (ф) СВФУ, 2015. – С. 200–207.

“Gornye nauki i tehnologii”/ “Mining science and technology”, 2017, No. 1, pp. 12-20

Title:	Forecast of seismic impact of blasting on mining infrastructure
Author 1	Name&Surname: Nikolay N. Grib Company: Technical Institute (branch) of the North-Eastern Federal University Address: 678960. Russia, The Sakha Republic (Yakutia), Neryungri, st. Kravchenko, 16 Scientific Degree: Dr. Sci. (Tech.), Prof. Work position: Deputy Director on scientific work, Head of the Department of mining Contacts: grib@nfygu.ru
Author 2	Name&Surname: Maksim V. Tereshchenko Company: Technical Institute (branch) of the North-Eastern Federal University Address: 678960. Russia, The Sakha Republic (Yakutia), Neryungri, st. Kravchenko, 16 Work position: lead engineer, the laboratory of monitoring and forecast of seismicity Contacts: terexa@pochta.ru
Author 3	Name&Surname: Galina V. Grib Company: Technical Institute (branch) of the North-Eastern Federal University Address: 678960. Russia, The Sakha Republic (Yakutia), Neryungri, st. Kravchenko, 16 Scientific Degree: Cand. Sci. (Geol.-Mineral.) Work position: Head of the laboratory of monitoring and forecast of seismicity Contacts: nss@neru.sakha.ru
Author 4	Name&Surname: Andrey Y. Pazynich Company: JS Holding Company Yakutugol Address: 678960, Russia, The Sakha Republic (Yakutia), Neryungri, st. Lenina 3/1 Scientific Degree: Cand. Sci. (Tech.) Work position: technical director
DOI:	10.17073/2500-0632-2017-1-12-20
Abstract:	The issue of predicting seismic impact of commercial blasting on production infrastructure is of great importance in open cast mining. In this case, the interest to this problem is determined by the need to ensure both safety and efficiency of mining in the vicinity of protected facilities of PJSC Holding Company Yakutugol, affected by mining operations at the Neryungrinsky open-cast coal mine. The performed experimental studies showed that natural factors affect the seismic effect intensity, but are not decisive. Nevertheless, such natural factors as water content, permafrost and seasonal frozen rocks should be taken into account when designing drilling and blasting operations. The ground vibration velocity at the monitoring points depends primarily on the explosive charge weight being maximum in the group, and the hypocentral distance, i.e. the distance



	<p>from the place (area) inside the block, where rock rupturing and fracturing begin, seismic waves arise at blasting and propagate to the recording point, as well as the single blast scale. In this regard, to ensure confidence and reliability of predicting blasting seismic action on protected facilities for increasing efficiency of drilling and blasting operations in the Neryungrinsky open-cast coal mine, a technique should be developed based on the regularities linking seismic motions during blasting with the blasting characteristics and the hypocentral distance. The dependence obtained from the findings of the experimental studies was implemented in the algorithm when developing the application program "SeismPrognoz", which allows to quickly calculate the maximum vectorial velocity of ground displacement, the explosive charge maximum weight in the group, the safe distance, the total explosive charge weight, and use the information obtained for calculating blasting pattern for a particular block.</p>
Keywords:	<p>Blasting, commercial infrastructure, seismic action (shock), charge weight, maximum vectorial velocity, permissible ground vibration velocity, computer program, algorithm</p>
References:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cardu, Marilena, Seccatore, Jacopo, Vaudagna, Alberto, Rezende, Alvaro, Galvão, Fabio, Bettencourt, Jorge, & Tomi, Giorgio de. (2015). Evidences of the influence of the detonation sequence in rock fragmentation by blasting – Part I. Rem: Revista Escola de Minas, 68(3), pp.337-342. https://dx.doi.org/10.1590/0370-44672014680218. 2. Sovmen V. K., B. N. Kutuzov, Maryasov, A. L., Ekvist, B. V., Tokarenko A. V. Seysmicheskaya bezopasnost pri vzryivnyih rabotah (Seismic safety during blasting operations). Uchebnoe posobie. Izdatelstvo «Gornaya kniga» = Training manual. Publishing house "Mining book". Moscow, 2012. 229 p. (in Russian) 3. Woodward, K., Wesseloo, J.. (2015). Observed spatial and temporal behaviour of seismic rock mass response to blasting. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 115(11), pp.1044-1056. https://dx.doi.org/10.17159/2411-9717/2015/v115n11a9. 4. Federalnyie normyi i pravila v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Pravila bezopasnosti pri vzryivnyih rabotah» (Federal norms and rules in field of industrial safety "Safety Rules for blasting"). Series 13. Issue 14. Moscow. ZAO «Nauchno-tehnicheskiiy tsentr issledovaniy problem promyshlennoy bezopasnosti»=JSC "Scientific and technical center of industrial safety research problems". 2015. 332 p. (in Russian) 5. Bo Qiu. Numerical study on vibration isolation by wave barrier and protection of existing tunnel under explosions. Civil Engineering. INSA de Lyon, 2014. English. <NNT : 2014ISAL0011>. <tel-01127493>. https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01127493. 6. Yugo N, Shin W, Analysis of blasting damage in adjacent mining excavations, Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering(2015), doi: 10.1016/j.jrmge.2014.12.005. 7. Hustrulid W. A. (2005). Blasting Principles for Open Pit Mining, Set of 2 Volumes. CRC Press. Textbook - 1038 p. ISBN 9789054104582. 8. Tseytlin Y. I., Smoliiy N. I. Seysmicheskie i udarnyye vozduzhnyie volny promyshlennyih vzryivov (Seismic and air shock waves from industrial explosions). Moscow, Nedra. 1981. 192 p. 9. Kuzmenko A. A., Vorobyev V. D., Denisyuk I. I., Doumas A. A. Seysmicheskoe deystvie vzryiva v gornyyih porodah (The seismic action of explosion in rocks). Moscow, Nedra. 1990. 173 p. (in Russian) 10. Kutuzov B. N., Sovme V. K., Ekvis B. V., Vartanov V. G. Bezopasnost seysmicheskogo i vozduzhnogo vozdeystviya massovyih vzryivov (The seismic safety and air effects of massive explosions). Uchebnoe posobie dlya vuzov. Izdatelstvo MGGU =Textbook for universities. Publishing house of MSMU. Moscow, 2004. 180 p. (in Russian) 11. Ekvist B. V. Sravnenie rezultatov seysmicheskogo vozdeystviya vzryivov skvazhinnyih zaryadov s ispolzovaniem shemyi initsirovaniya s pomoschyu DS i SINV na karyere «Vostochnyy» zolotodobyivayuschey kompanii «Polyus» Krasnoyarskogo kraya (Comparison of the seismic influence of borehole charges explosion results with the use of a initiation scheme with DS and SINV at the quarry "Eastern" gold mining company Polyus of Krasnoyarsk region). Gornyyiy Informatsionno-analiticheskiiy byulleten. Vzryivnoe delo =Mountain Information-analytical Bulletin. The explosive work. 2007. A separate edition. Vol.8. pp.151-160. (in Russian)



12. Jinxing Lai, Haobo Fan, Jianxun Chen, Junling Qiu, and Ke Wang, "Blasting Vibration Monitoring of Undercrossing Railway Tunnel Using Wireless Sensor Network," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 2015, Article ID 703980, 7 p., 2015. doi:10.1155/2015/703980.
13. Kishkina S. B., Spivak A. A. Lokalnyiy seismicheskiy effekt karernyih vzryivov (Local seismic effect of quarry blasts). V sb. Fizicheskie protsessy v geosfere: ih proyavleniya i vzaimodeystvie. RAN = In: Physical processes in geospheres: their manifestation and interaction. RAS. Moscow, 1999. pp. 111 – 116. (in Russian)
14. F. W. Huang, D. Y. Liu, H. Luo, B. Liu, "Analysis on Attenuation-Amplification Effect and Vibration Monitoring of Pier-Beam of Continuous Beam Bridge under Near Blasting", *Applied Mechanics and Materials*, Vols. 353-356, pp. 1919-1922, 2013. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.353-356.1919.
15. Nesmeyanov B. V. Prognozirovanie skorosti seismicheskikh kolebaniy pri proektirovani i proizvodstve massovyih vzryivov v karerakh (Prediction of the seismic vibrations speed in the design and production of mass explosions in quarries). *Maksheyderiya i nedropolzovanie=Mine surveying and subsurface use*. 2011. No.6. pp. 27 – 33. (in Russian)
16. Grib G. V., Pazynich A. Y., Grib N. N. Otsenka vliyaniya prirodnyih faktorov na seismicheskiy effekt ot massovyih vzryivov (Evaluation of the natural factors influence on the mass explosions seismic effect). *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk=Samara scientific centre of Russian Academy of Sciences News*. Vol.15. No.3(2). 2013. pp. 626 – 630. (in Russian)
17. Grib G. V., Pazynich A. Y., Grib N.N., Petrov E. E. Zavisimost seismicheskogo deystviya vzryiva v massive gornyih porod ot tehnologicheskikh usloviy vedeniya burovzryivnyih работ (The dependence of the explosion seismic action in rocks from the technological conditions of drilling and blasting operations). *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk=Samara scientific centre of Russian Academy of Sciences News*. Vol.14. No.1(8). 2012. pp. 2112 – 2117. (in Russian)
18. Grib N.N., Grib G.V., Syasko A.A., Kachaev A.V. Seismicheskoe vozdeystvie massovyih vzryivov na prirodno-tehnicheskie ob'ekty (Seismic effect of mass blasts on natural and technical objects). *Bezopasnost v tekhnosfere=Safety in the technosphere*. 2015. Vol. 4. Issue 2. pp. 33-39. DOI: 10.12737/11331. (in Russian)
19. Chernykh E. N. Eksperimentalnaya otsenka seismicheskogo deystviya massovyih vzryivov v razreze «Neryungrinskiy» na ohranyaemye obyekty (Experimental evaluation of mass blasts seismic action in mine "Neryungrinsky" on protected objects). *Materialyi mezhdunarodnoy konferentsii «Geologo-geofizicheskaya sreda i raznoobraznyie proyavleniya seismichnosti»*. Izd-vo Tehnicheskogo instituta (f) SVFU = Proceedings of the international conference "Geological-geophysical environment and various manifestations of seismicity". Publishing house of Technical Institute (f) NEFU. Neryungri, 2015. pp. 200 – 207. DOI: 10.18411/svfu1230915-28 (in Russian)

