

Оценка влияния взрывных работ на устойчивость спаренных тоннелей

Туан Минь ЧАН¹,
Сюань Нам БУЙ^{1,*},
Куанг Хиеу ЧАН¹,
Куанг Хюи НГУЕН^{2,**},
Владимир Иванович ГОЛИК^{3,***}

¹Ханойский университет горного дела и геологии, Вьетнам, Ханой

²Институт транспортных технологий, Вьетнам, Ханой

³Северо-Кавказский государственный технологический университет, Россия, Владикавказ

Актуальность исследования объясняется необходимостью строительства большого объема подземных транспортных магистралей в условиях сложноструктурных породных массивов Вьетнама. Решение затронутой проблемы может служить основанием для оптимизации процессов строительства подземных объектов многоцелевого назначения.

Целью исследования является установление закономерностей между техногенными напряжениями вследствие взрывных работ в новом тоннеле и сохранностью конструкций и горных пород в существующем тоннеле для оптимизации параметров крепей тоннелей.

Сверхзадачей исследования является получение количественных параметров напряженности массива путем моделирования условий тоннеля в заданных условиях методом конечных элементов с учетом того, что давление взрыва при расширении вспомогательного тоннеля до проектного сечения концентрируется на контуре проектного тоннеля.

Предметом исследования является транспортный тоннель Хайван на дороге Север–Юг Вьетнама.

Результаты и их обсуждение. Приведены методика и результаты численного моделирования по программе Phase 2 условий строительства основного и вспомогательного тоннелей. Получены параметры распределения напряжений и деформаций в окрестностях вспомогательного и капитального тоннелей при изменении взрывного давления. Получены количественные значения безопасного для крепи взрывного давления в элементах системы обоих тоннелей. Рекомендованы безопасные по фактору устойчивости крепи тоннелей параметры взрывных работ.

Выводы. Генерируемые взрывными работами техногенные напряжения во вмещающем строительные объекты породном массиве не разрушают крепь тоннеля, если не превышают установленной для данных условий величины, и регулируются технологически путем выбора рациональных параметров взрывных работ на любой стадии строительства.

Ключевые слова: взрывные работы, взрывная волна, давление, крепь, тоннель, напряжения, устойчивость.

Введение

Проходка нового тоннеля вблизи существующего или расширение транспортного тоннеля на дороге Север–Юг Вьетнама осуществляется буровзрывным способом, который широко используется во Вьетнаме [1–3]. В будущем тоннели Хайван, Деока, Кумонг и другие будут расширяться таким же способом.

Состояние и устойчивость горных пород вокруг транспортного тоннеля, а также оценка влияния взрывного воздействия от проходки нового тоннеля на существующий тоннель были оценены в работах вьетнамских ученых [4–9] и ученых других стран мира, в том числе и России [10–15].

Целью исследования является установление закономерностей влияния взрывных работ в новом тоннеле на конструкции и окружающий горный массив в существующем тоннеле, что служит основой оптимизации параметров крепей.

Поставленная цель достигается посредством моделирования напряженно-деформированного состояния горного массива вокруг вспомогательного и капитального тоннелей при изменении эквивалентного взрывного давления.

Исследования выполнены для условий тоннеля Хайван между Тхья Тхиен Хюэ и Данангом (Вьетнам), пройденного в 2005 г. с общей длиной выработок 6280 м, в том числе два параллельных тоннеля, четыре полосы для автомашин и вентиляционные стволы. Проблема этого тоннеля характерна и для других тоннелей и подземных объектов Вьетнама.

Результаты и их обсуждение


Главный тоннель имеет ширину 13 м. Вспомогательный тоннель находится на расстоянии 30 м от главного и имеет площадь 15,5 м² (рис. 1).

Для достижения цели исследования использовано численное моделирование по программе Phase 2. Длина тоннеля 6,3 км, поэтому моделировали условия части тоннеля, приняв, что породы имеют неизменяющиеся свойства. Вспомогательный тоннель имеет ширину 5,3 м и высоту 4,5 м. Существующий тоннель закреплен железобетонной крепью с толщиной 35 см, арматурой диаметром 22 мм и расстоянием между элементами арматуры 20 см. Результаты численного моделирования приведены на рис. 2.

* buixuannam@humg.edu.vn

 <https://orcid.org/0000-0001-5953-4902>

** Tuanminh@humg@yahoo.com

***  v.i.golik@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1181-8452>



Рисунок 1. Модель тоннеля Хайван во Вьетнаме.
Figure 1. The model of the tunnel Hai Van in Vietnam.

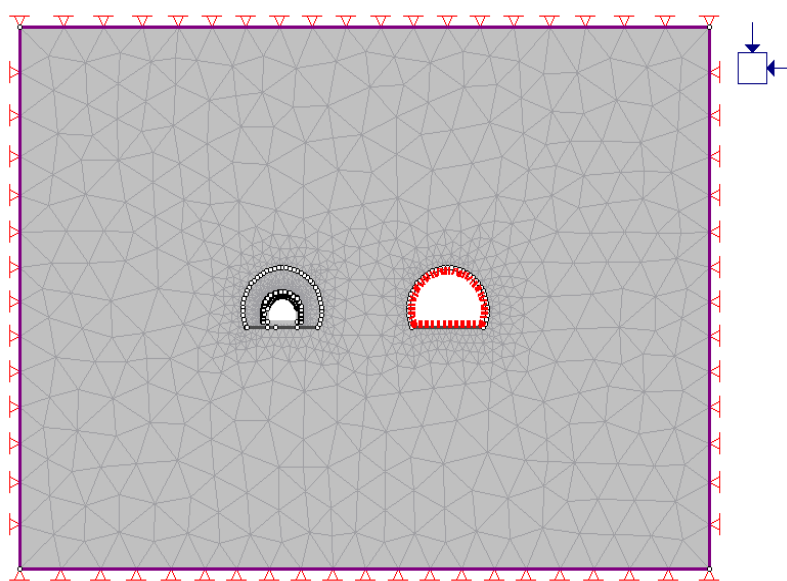


Рисунок 2. Схема численного моделирования.
Figure 2. The scheme of numerical modeling.

Размеры модели: ширина 125 м, высота – 90 м. Эквивалентное взрывное давление для моделирования может определяться по формуле:

$$p = 0,00337\rho v^2,$$

где p – давление взрывной волны, МПа; ρ – плотность заряжения ВВ; v – скорость взрывной волны, м/с.

Предполагаем, что давление взрыва при расширении вспомогательного тоннеля до проектного сечения концентрируется на контуре проектного тоннеля (рис. 3–6).

Моделированием определены параметры взрывного давления на контуре вспомогательного тоннеля. Рассматривая совместно динамику сил в крепи и динамику взрывного давления при расширении вспомогательного тоннеля, определили величину взрывного давления, которое не разрушает конструкцию. Результаты расчета напряженно-деформированного состояния вокруг вспомогательного и капитального тоннелей при изменении эквивалентного взрывного давления показаны на рис. 7–9.

Закономерность динамики сил в существующем тоннеле иллюстрируется рис. 10–12.

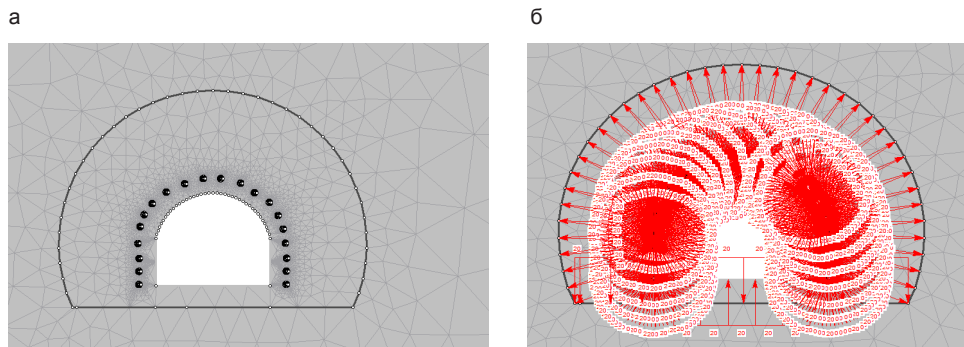


Рисунок 3. Моделирование буровзрывного давления в забое. а – шпуры в первой группе; б – взрывное давление в шпурах.
Figure 3. Modeling of drilling-and-blasting bottomhole pressure. а – blastholes in the first group; б – blast pressure in the blastholes.

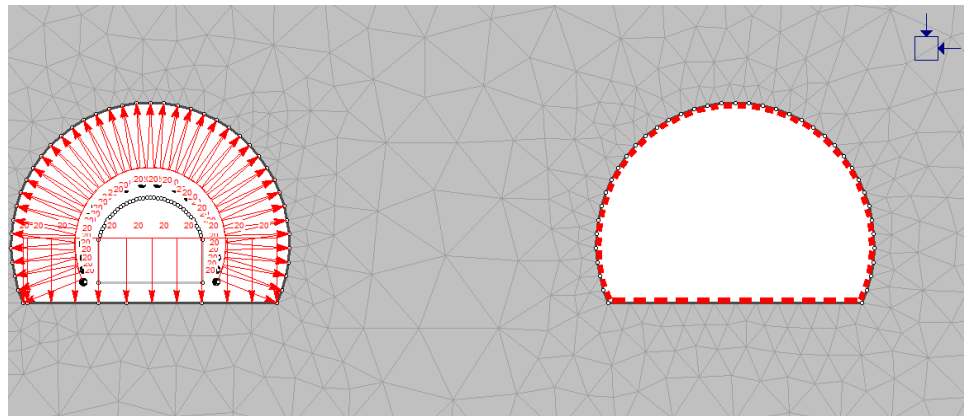


Рисунок 4. Результаты моделирования при взрывном давлении 20 МПа.
Figure 4. The results of modelling with blast pressure of 20 MPa.

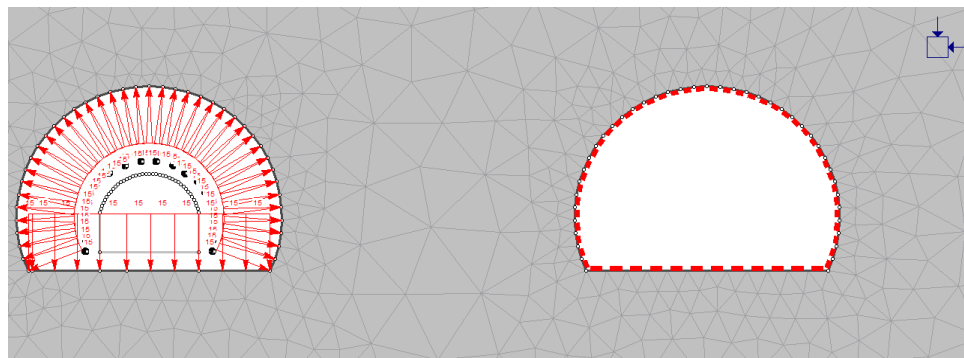


Рисунок 5. Результаты моделирования при взрывном давлении 15 МПа.
Figure 5. The results of modelling with blast pressure of 15 MPa.

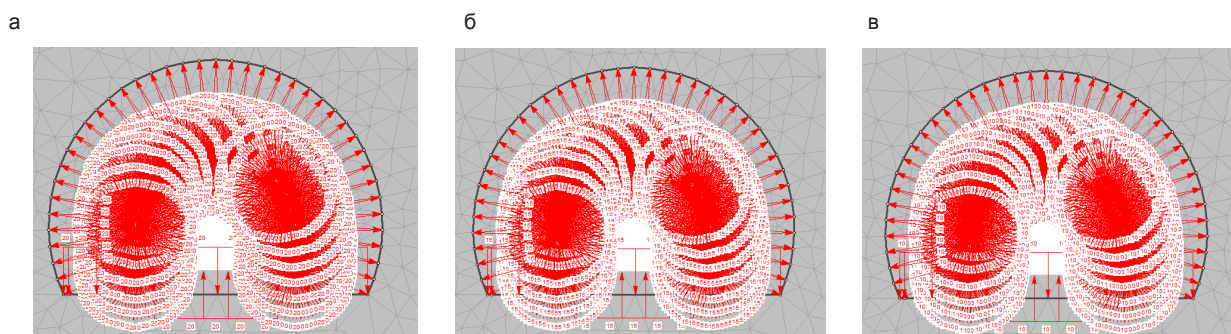


Рисунок 6. Динамика взрывного давления при проходке вспомогательного тоннеля. а – взрывное давление 20 МПа; б – 15 МПа; в – 10 МПа.
Figure 6. The dynamics of the blast pressure while tunneling. а – blast pressure 20 MPa; б – 15 MPa; в – 10 MPa.

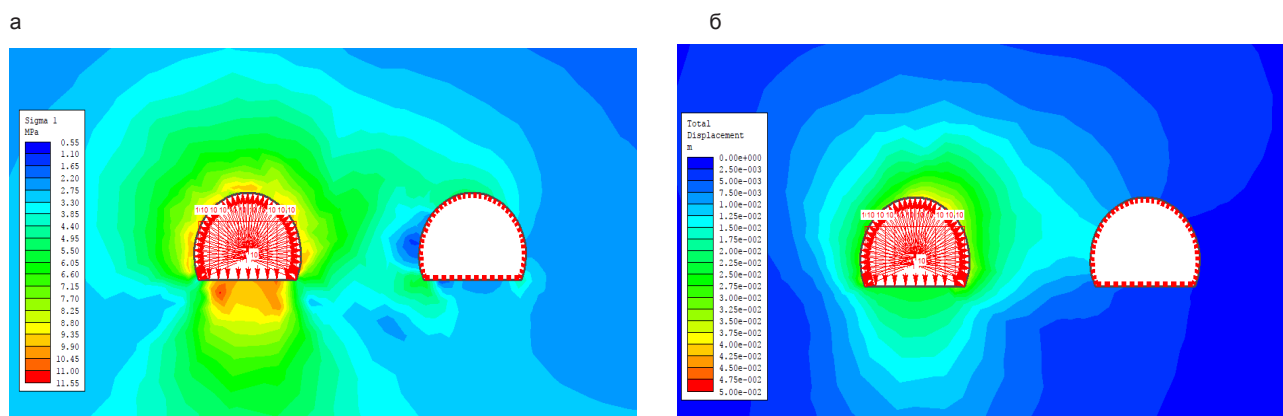


Рисунок 7. Распределение напряжений и смещений при взрывном давлении 10 МПа. а – распределение вертикальных напряжений на контуре тоннелей; б – распределение смещений на контуре тоннелей.

Figure 7. Distribution of stresses and displacements at an explosive pressure of 10 MPa. a – distribution of vertical stresses on the contour of the tunnels; б – distribution of displacements on the contour of the tunnels.

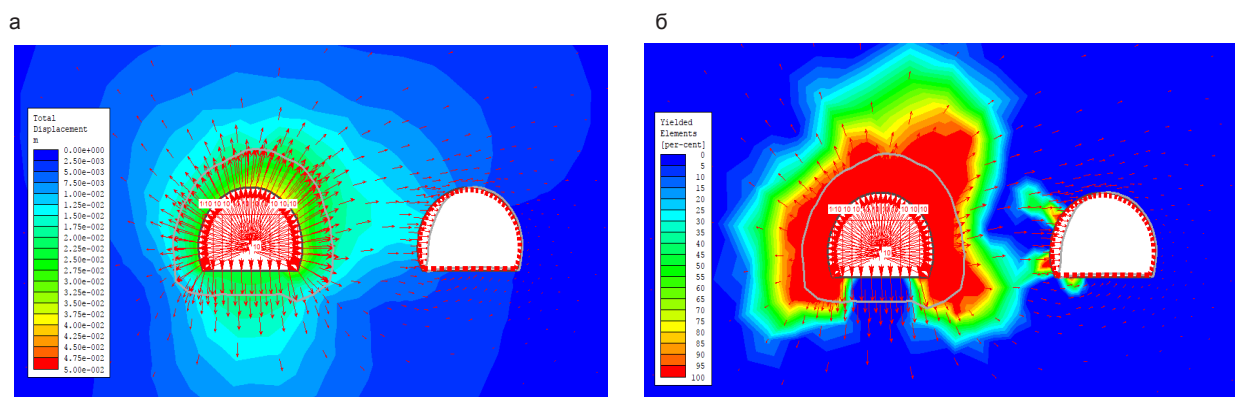


Рисунок 8. Вектор смещения горных пород и зоны неупругих деформаций на контуре тоннелей при взрывном давлении 10 МПа. а – распределение векторов смещений горных пород вокруг тоннелей; б – зоны неупругих деформаций вокруг двух тоннелей.

Figure 8. Displacement vector of rocks and plastic range of stress on the contour of tunnels with an explosive pressure of 10 MPa. а – distribution of rock displacement vectors around tunnels; б – plastic range of stress around two tunnels.

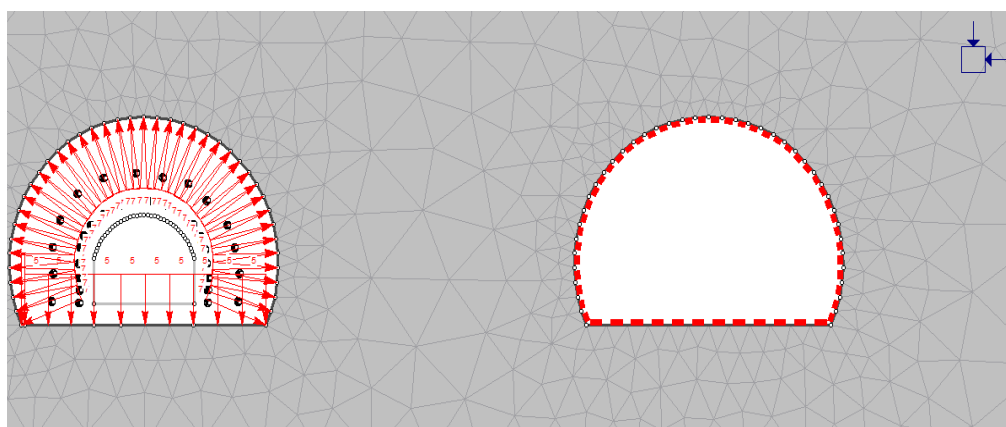


Рисунок 9. Распределение напряжений и смещений при взрывном давлении 7 МПа.

Figure 9. Distribution of stresses and displacements at an explosive pressure of 7 MPa.

Результаты моделирования (рис. 13–15) свидетельствуют о том, что взрывное давление имеет оптимальное значение, пока значения внутренних сил (M , H , Q) в крепи существующего тоннеля равны значениям во вспомогательном тоннеле. При значении взрывного давления до 7 МПа силы в существующем тоннеле не изменяются.

Результаты моделирования показывают, что взрывные работы во вспомогательном тоннеле капитального тоннеля Хайван не оказывают опасного влияния на устойчивость конструкции крепи в существующем тоннеле (табл. 1–2).

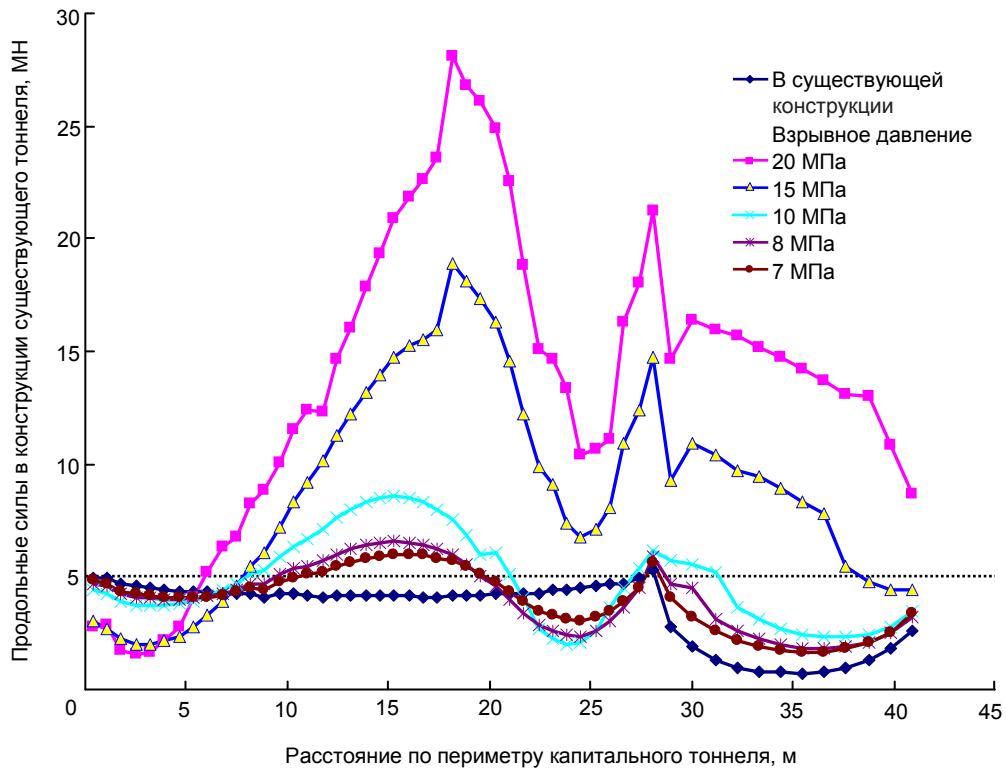


Рисунок 10. Динамика продольной силы в крепи существующего тоннеля до взрыва и после взрыва во вспомогательном тоннеле.
Figure 10. The dynamics of axial force in the poling boards of the existing tunnel before the explosion and after the explosion in the auxiliary tunnel.

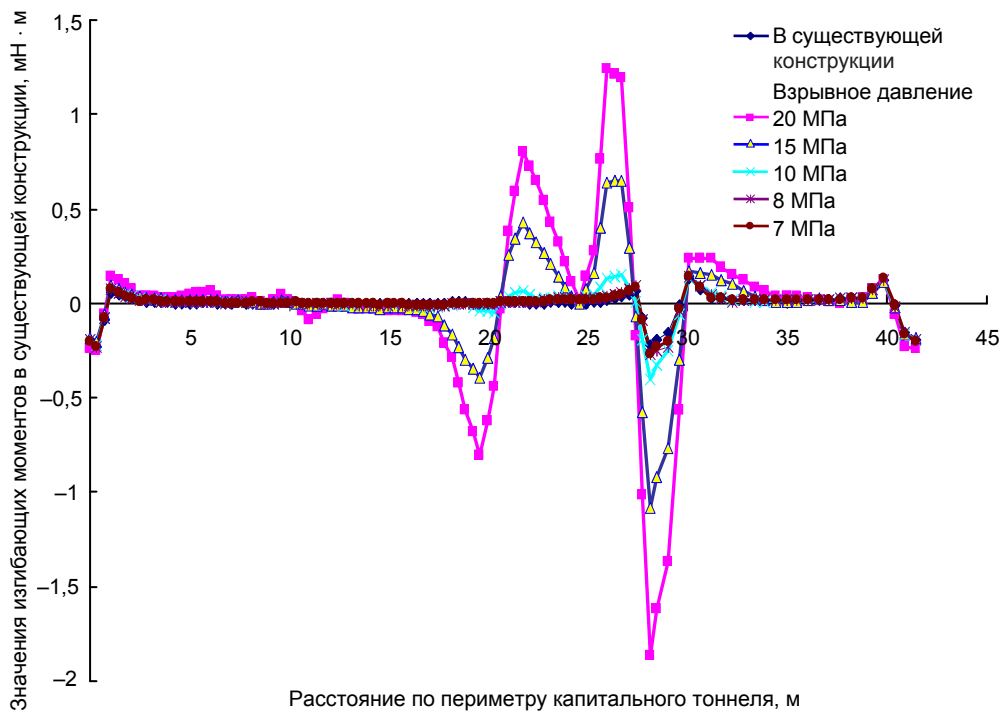


Рисунок 11. Динамика изгибающих моментов в крепи существующего тоннеля до взрыва и после взрыва во вспомогательном тоннеле.
Figure 11. The dynamics of bending moments in the poling boards of the existing tunnel before the explosion and after the explosion in the auxiliary tunnel.

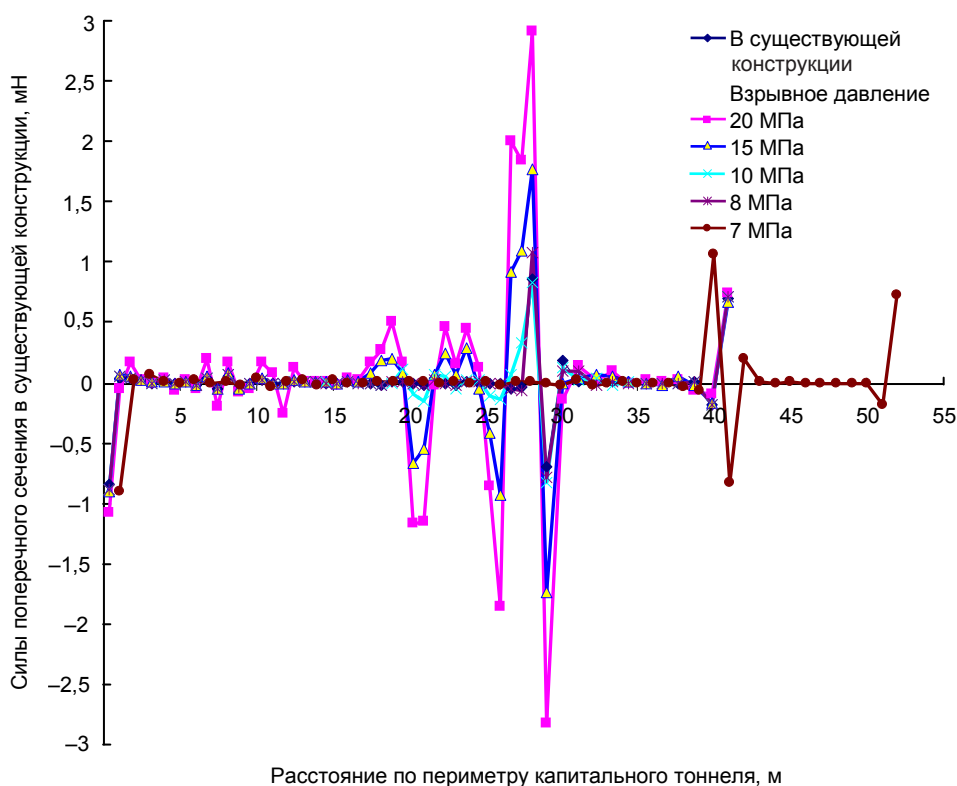


Рисунок 12. Динамика силы поперечного сечения в крепи существующего тоннеля до взрыва и после взрыва во вспомогательном тоннеле.

Figure 12. The dynamics of the cross-section force in the poling boards of the existing tunnel before the explosion and after the explosion in the auxiliary tunnel.

Таблица 1. Показатели расширения вспомогательного тоннеля Хайван при взрыве.

Table 1. Expansion numbers of the auxiliary tunnel Hai Van while explosion.

Показатель	Значение
Глубина шпуров L_k , м	1,3
Расстояние между шпурами в ряду W , м	0,8
Удельный расход ВВ q , кг/м ³	0,8
Общий расход ВВ $Q_{ВВ}$, кг	42,75
Количество шпуров N , шт.	98
Длина заряда в шпуре во врубах L_b , м	0,6
Длина заряда во врубах $L_{3,в}$, м	0,7
Длина заряда в контурной группе L_3 , м	0,3
Длина заряда в контурной группе L_p , м	1,0

Таблица 2. Параметры заряжания шпуров в забое тоннеля.

Table 2. The parameters of hole charging at a face of the tunnel.

Шпуры	Номер шпура	Электродетонатор	Интервал замедления времени, мс	Шпур	Общее число шпуров	Глубина шпуров, м	Суммарная масса заряда ВВ, кг			Глубина перебура, м	Длина, м	Угол наклона, град.	
							На 1 шпур	Число шпуров	Всего			Вертикаль	Горизонталь
Отбойный шпур 1	1–8	1	25	2	16	1,3	0,6	8	4,8	0,7	5,6	90	115
Отбойный шпур 2	9–16	5	125	2	16	1,3	0,6	8	4,8	0,7	5,6	105	105
Отбойный шпур 3	17–24	9	250	1,5	12	1,3	0,45	8	3,6	0,85	6,8	90	100
Отбойный шпур 4	25–34	11	350	1,5	15	1,3	0,45	10	4,5	0,85	8,5	90	95
Отбойный шпур 5	34–41	13	450	1	8	1,3	0,3	8	2,4	1	8	90	90
Отбойный шпур 6	42–51	15	600	1	11	1,3	0,3	11	3,3	1	11	90	90
Контурный шпур	52–66	17	800	1	16	1,3	0,3	16	4,8	1	16	90	92
Подошвенный шпур 1	67–75	20	1125	1	16	1,3	0,3	16	4,8	1	16	90	92
Подошвенный шпур 2	76–80	21	1225	2,5	15	1,3	0,75	6	4,5	0,55	3,3	90	92
Подошвенный шпур 2	81–98	30	4350	2,5	17,5	1,3	0,75	7	5,25	0,55	3,85	90	92
<i>Итого</i>	–	–	–	–	142,5	–	–	98	42,75	–	–	–	–



Рисунок 13. Буровзрывные работы при расширении вспомогательного тоннеля.
Figure 13. Blasting workings during the expansion of the auxiliary tunnel.

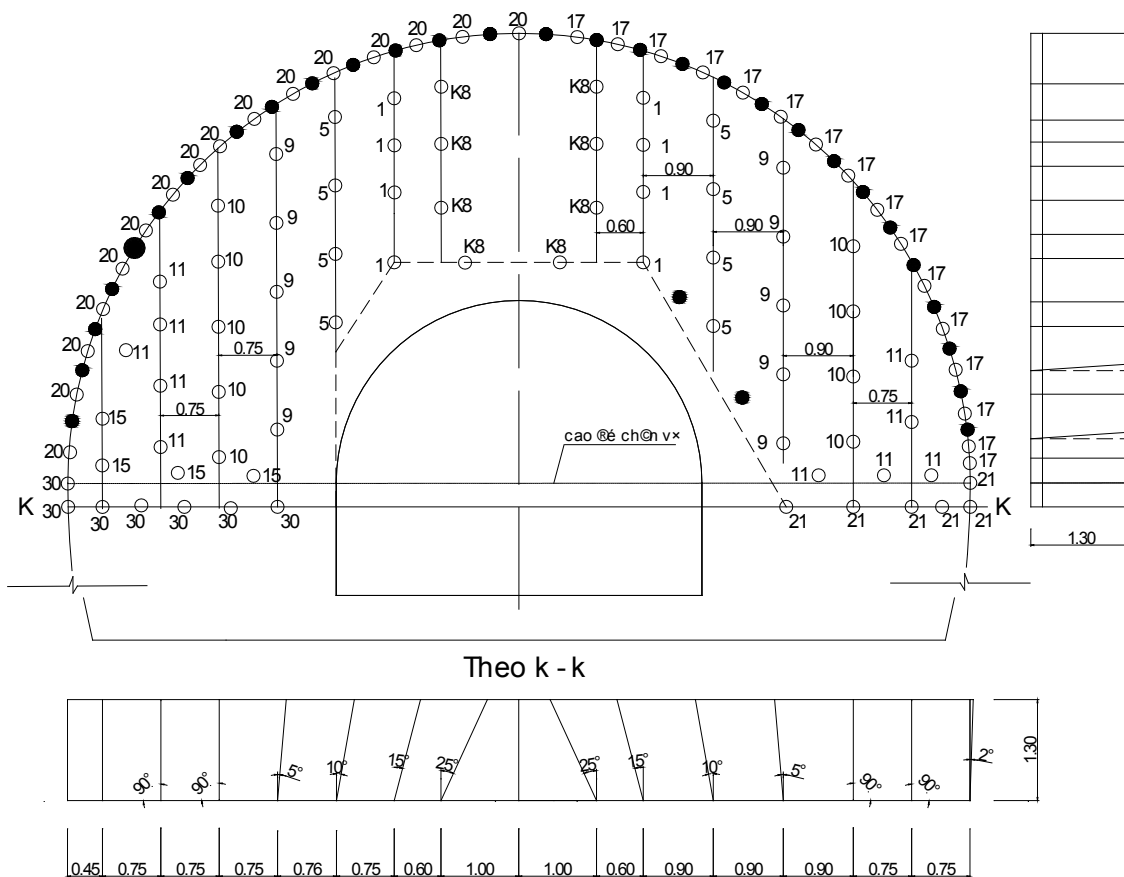


Рисунок 14. Схема расположения шпуров в забое вспомогательного тоннеля.
Figure 14. The boring hole pattern at a face of the auxiliary tunnel.



Рисунок 15. Разрушение крепи существующего тоннеля после взрыва во вспомогательном тоннеле.
Figure 15. Destruction of the poling boards of the existing tunnel after the explosion in the auxiliary tunnel.

Выводы

При величине взрывного давления до 7 МПа природно-техногенные напряжения в массиве не разрушают крепь тоннеля.

Для уменьшения взрывного давления и повышения устойчивости конструкций крепи и устойчивости пород вокруг тоннелей рекомендуется использование электродетонаторов с сериями замедлений, ориентировка направления ударной волны противоположна направлению вблизи расположенного тоннеля.

Повышение эффективности работы взрыва достигается применением дифференциальной схемы с неэлектрическими средствами взрывания и рационализация схемы вруба – посредством инициирования взрывной сети в направлении минимизации негативного влияния взрывных волн.

ЛИТЕРАТУРА

1. Võ Trọng Hùng. Ảnh hưởng của công tác khoan nổ mìn đến sự hình thành vùng phá hủy xung quanh công trình ngầm [Воздействие бурения и взрывных работ на формирование участков сноса вокруг подземных сооружений] // Tạp chí công nghiệp mỏ [Mining Industry Journal]. 2012. Số 1, tr. 5–9.
2. Võ Trọng Hùng. Nghiên cứu sự tác động của sóng nổ mìn đến kết cấu chống giữ công trình ngầm [Исследование влияния взрывных волн на подземные сооружения] // Tạp chí Công nghiệp Mỏ [Mining Industry Journal]. 2010. Số 6, tr. 1–5.
3. Võ Trọng Hùng, Lê Đình Tân, Nguyễn Tiến Khiêm. Nghiên cứu động lực học môi trường đất đá và kết cấu đường hầm dưới tác dụng sóng nổ [Изучение динамики окружающей среды горных пород и почв и структуры туннеля под взрывной волной] // Tạp chí Địa kỹ thuật [Vietnamese Geotechnical Journal]. 1999. Số 1.
4. Lê Đình Tân. Tính toán động lực học công trình ngầm chịu tác dụng của sóng nổ [Расчет динамики подземных сооружений, подверженных воздействию волн взрыва]: тезисы дис. Hà Nội, Học viện KTQS, 2000.
5. Quy phạm an toàn về bảo quản, sử dụng, vận chuyển và tiêu hủy vật liệu nổ công nghiệp [Правила безопасности при сохранении, использовании, транспортировке и уничтожении промышленных взрывчатых материалов]: QCVN 02:2008/BCT [Технический регламент].
6. Nguyễn Xuân Mãn và, nnk. Xác định bán kính phá hủy khi nổ một lượng thuốc nổ đơn độc trong khối đá [Определение радиуса разрушения при взрыве одного взрывчатого вещества в скале]. Tuyển tập báo cáo Hội nghị Khoa học lần thứ 19, Đại học Mỏ-Địa chất [Материалы 19-й науч. конф.]. Hanoi, Hanoi University of Mining and Geology, 2010. P. 21–25.
7. Nguyễn Hải Hưng và, nnk. Ảnh hưởng của thời gian tác dụng nổ đến kết cấu công trình ngầm quân sự [Влияние продолжительности действия взрыва подземных сооружений на военную инфраструктуру]. Tuyển tập báo cáo Hội nghị Khoa học lần thứ 21, Đại học Mỏ-Địa chất [Материалы 19-й науч. конф.]. Hanoi, Hanoi University of Mining and Geology, 2014.
8. Đặng Văn Kiên. Khảo sát chấn động nổ mìn khi đào hầm bằng phương pháp khoan nổ mìn ở khu vực thành phố bằng mô hình 2D [Исследование сотрясений при проходке взрывных работ по бурению и метод взрывных работ в городских районах в 2D модели] // Tạp chí Công nghiệp mỏ [Mining Industry Journal]. 2014. Số 6, tr. 7–12.
9. Đàm Trọng Thắng, Bùi Xuân Nam, Trần Quang Hiếu. Nổ mìn trong ngành mỏ và công trình [Разведка шахт в горнодобывающей промышленности и строительстве]. Hà Nội, 2015. 454 tr.
10. Stolarík M. Modeling of vibration effect within small distances // Acta Geodynamica et Geomaterialia. 2008. Vol. 5, № 2(150). P. 137–146. URL: https://www.ceramics-silikaty.cz/materialy/acta_content/2008_02/5_Stolarik.pdf
11. Volden J. A. B. Engineering geological evaluation of the applicability of Drill & Split in tunnels at the Follo line project: Master's Thesis. Trondheim, 2015. 139 p.
12. Jinxing Lai, Haobo Fan, Jianxun Chen, Junling Qiu, KeWang. Blasting Vibration Monitoring of Undercrossing Railway Tunnel Using Wireless Sensor Network // International Journal of Distributed Sensor Networks. 2015. Vol. 11, issue 6. <https://doi.org/10.1155/2015/703980>
13. Qingguo Liang, Jie Li, Dewu Li, Erfeng Ou. Effect of Blast-Induced Vibration from New Railway Tunnel on Existing Adjacent Railway Tunnel in Xinjiang, China // Rock mechanics and rock engineering. 2012. Vol. 46, issue 1. P. 19–39. <https://doi.org/10.1007/s00603-012-0259-5>
14. Голик В. И., Комашенко В. И., Качурин Н. М. К проблеме подземной разработки рудных месторождений Центрального федерального округа // Изв. ТулГУ. Науки о Земле. 2016. № 4. С. 127–139.
15. Голик В. И., Исмаилов Т. Т., Страданченко С. Г., Лукьянов В. Г. Охрана искусственных массивов от сейсмического воздействия при подземной добыче руд // Изв. ТПУ. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327, № 4. С. 6–15.

Статья поступила в редакцию 16 марта 2018 г.

Evaluation of influence of blasting workings on the stability of double tunnels

Tuan Minh TRAN¹,
 Xuan Nam BUI^{1,*},
 Quang Hieu TRAN¹,
 Quang Huy NGUYEN^{2,**},
 Vladimir Ivanovich GOLIK^{3,***}

¹Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

²Institute of Transport Science and Technology, Hanoi, Vietnam

³North Caucasian Mining and Metallurgical Institute (State Technological University), Vladikavkaz, Russia

Relevance of the study is explained by the need to build a large amount of underground traffic arteries in the complex structural rock masses of Vietnam. The solution of the problem can serve as a basis for optimizing the processes of construction of underground multipurpose facilities.

Purpose of the study is to determine regularities between technological stresses due to blasting workings in a new tunnel and keeping of construction and rocks in the existing tunnel to optimize the parameters of the tunnel poling boards.

The most important task of the study is to obtain quantitative parameters of stress of the rock mass by simulating the conditions of a tunnel under specified conditions using the finite element method and taking into account that the explosion pressure during expansion of the auxiliary tunnel before the design section is fixed on the contour of the designed tunnel.

The subject of the research is the Hai Van transport tunnel in the North-South Vietnam road.

Results and discussion. The methodology and results of numerical modeling using the Phase 2 program for the conditions of construction of the main and auxiliary tunnels are given. The parameters of the distribution of stresses and strains in the vicinity of the auxiliary and main tunnels with varying explosive pressure are obtained. The quantitative values of safe explosive pressure for poling boards in the elements of the system of both tunnels were obtained. The safety parameters of blasting workings are recommended (according to the stability factor of poling boards).

Conclusions. Technogenic stresses generated by blasting workings in the rock mass that encloses building sites do not destroy the poling boards of a tunnel, if they do not exceed the value specified for these conditions; they are technologically regulated by choosing rational blasting parameters at any stage of construction.

Keywords: blasting workings, blast wave, pressure, poling board, tunnel, stress, stability.

REFERENCES

1. Võ Trọng Hùng. 2012, Ảnh hưởng của công tác khoan nổ mìn đến sự hình thành vùng phá hủy xung quanh công trình ngầm [Impact of drilling and blasting workings on the formation of removal sites around underground structures]. *Tạp chí công nghiệp mỏ* [Mining Industry Journal], số 1, tr. 5–9. (In Vietnamese).
2. Võ Trọng Hùng. 2010, Nghiên cứu sự tác động của sóng nổ mìn đến kết cấu chống giữ công trình ngầm [Study of the effect of blast waves on underground structures]. *Tạp chí Công nghiệp Mỏ* [Mining Industry Journal], số 6, tr. 1–5. (In Vietnamese).
3. Võ Trọng Hùng, Lê Đình Tân, Nguyễn Tiến Khiêm. 1999, Nghiên cứu động lực học môi trường đất đá và kết cấu đường hầm dưới tác dụng sóng nổ [The study of the dynamics of the environment of rocks and soils and the structure of the tunnel under the blast wave]. *Tạp chí Địa kỹ thuật* [Vietnamese Geotechnical Journal], số 1. (In Vietnamese).
4. Lê Đình Tân. 2000, Tính toán động lực học công trình ngầm chịu tác dụng của sóng nổ [Calculation of the dynamics of underground structures exposed to explosion waves]. Luận án TSKT [PhD thesis]. Hà Nội, Học viện KTQS. (In Vietnamese).
5. Quy phạm an toàn về bảo quản, sử dụng, vận chuyển và tiêu hủy vật liệu nổ công nghiệp [Safety rules for the preservation, use, transportation and destruction of industrial explosive materials]. QCVN 02:2008/BCT [Technical Reglment]. (In Vietnamese).
6. Nguyễn Xuân Mãn và, nnk. 2010, Xác định bán kính phá hủy khí nổ một lượng thuốc nổ đơn độc trong khối đá [Determination of the radius of destruction in the explosion of a single explosive substance in the rock]. Tuyển tập báo cáo Hội nghị Khoa học lần thứ 19, Đại học Mỏ-Địa chất [Proceedings of 19-th scientific conference]. Hanoi, Hanoi University of Mining and Geology, pp. 21–25. (In Vietnamese).
7. Nguyễn Hải Hưng và, nnk. 2014, Ảnh hưởng của thời gian tác dụng nổ đến kết cấu công trình ngầm quân sự [The impact of the duration of the effect of underground structures explosion on the military infrastructure]. Tuyển tập báo cáo Hội nghị Khoa học lần thứ 21, Đại học Mỏ-Địa chất [Proceedings of 19-th scientific conference]. Hanoi, Hanoi University of Mining and Geology. (In Vietnamese).
8. Đặng Văn Kiên. 2014, Khảo sát chấn động nổ mìn khi đào hầm bằng phương pháp khoan nổ mìn ở khu vực thành phố bằng mô hình 2D [Investigation of shocks during drilling blasting workings and method of blasting in urban areas in a 2D model]. *Tạp chí Công nghiệp mỏ* [Mining Industry Journal], số 6, tr. 7–12. (In Vietnamese).
9. Đàm Trọng Thắng, Bùi Xuân Nam, Trần Quang Hiếu. 2014, Nổ mìn trong ngành mỏ và công trình [Mine site exploration in extraction industry and construction]. Hà Nội, 454 tr. (In Vietnamese).
10. Stolarik M. 2008, Modeling of vibration effect within small distances. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, vol. 5, no. 2(150), pp. 137–146. URL: https://www.ceramics-silikaty.cz/materialy/acta_content/2008_02/5_Stolarik.pdf
11. Volden J. A. B. 2015, Engineering geological evaluation of the applicability of Drill & Split in tunnels at the Follo line project. Master's Thesis. Trondheim, 139 p.
12. Jinxing Lai, Haobo Fan, Jianxun Chen, Junling Qiu, and Ke Wang. 2015, Blasting Vibration Monitoring of Undercrossing Railway Tunnel Using Wireless Sensor Network. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 11, issue 6. <https://doi.org/10.1155/2015/703980>
13. Qingguo Liang, Jie Li, Dewu Li, Erfeng Ou. 2012, Effect of Blast-Induced Vibration from New Railway Tunnel on Existing Adjacent Railway Tunnel in Xinjiang, China. *Rock mechanics and rock engineering*, vol. 46, issue 1, pp. 19–39. <https://doi.org/10.1007/s00603-012-0259-5>
14. Golik, I., Konashchenko V. I., Kachurin N. M. 2016, To the problem of underground mining of ore deposits of the central federal district. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennoy universiteta* [Izvestiya Tula State University. Earth Sciences], no. 4, pp. 127–139. (In Russ.).
15. Golik V. I., Ismailov T. T., Stradanchenko S. G., Lukyanov V. G. 2016, Protection of artificial massifs from seismic impact during underground mining of ores. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering], vol. 327, no. 4. pp. 6–15. (In Russ.).

The article was received on March 16, 2018

* buixuannam@humg.edu.vn

 <https://orcid.org/0000-0001-5953-4902>

** Tuanminhhuang@yahoo.com

*** v.i.golik@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1181-8452>