

Gidrotehnicheskoe stroitelstvo. 1940. № 2. 131 s.

6. **Degtyar B.G.** Hidrotehnicheskij raschet plotiny s naklonnymi shpuntom pri $T < \infty$. / Resp. Mezhved. Nauchno-tehn. Sb., vyp. 18). Melioratsiya i vodnoe hozyajstvo. – Kiev: Urozhaj, 1970. – 183 s.

7. **Filjchakov P.F.** Teoriya filtratsii pod gidrotehnicheskimi sooruzheniyami. t.2. – Kiev: Izd AN USSR, 1960. – 123 s.

8. **Lavrentjev M.A., Shabat V.B.** Metody teorii funktsii kompleksnogo peremennogo. – M: Naukaa, 1973. – 736 s.

The material was received at the editorial office
21.01.2019 g.

Information about the authors

Atabiev Iskhak Zhafarovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department hydraulic structures of the FSBEI HE RGAU-MAA named after

C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, B. Academicheskaya Str. 44; e-mail: atabiev-ig@mail.ru

Atabiev Umar Iskhakovich, engineer, graduate student of the department hydraulic structures» FSBEI HE RSAU-Moscow Agricultural Academy named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, B. Academicheskaya Str. 44; e-mail: a_omar@mail.ru

Klyuev Alexander Nikolaevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department engineering structures FSBEI HE RGAU-MSHA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, B. Academicheskaya Str. 44; e-mail: a_omar@mail.ru

Nekrasova Tatyana Viktorovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department bases and foundations, Construction and Expertise of Real Estate Objects» FSBEI HE RGAU-MSHA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, B. Academicheskaya Str. 44; e-mail: nektavi@mail.ru

УДК 502/504:622.2:550.34

DOI 10.34677/1997-6011/2019-2-105-109

А.А. КОМАРОВ, Е.В. БАЖИНА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Российская Федерация

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ ВЗРЫВООПАСНОСТИ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ, ПРИЛЕГАЮЩЕЙ К ЭНЕРГОЕМКИМ ОБЪЕКТАМ

В статье приведен пример количественного определения состояния взрывоопасности городской застройки, расположенной на территории, прилегающей к энергоемкому и взрывоопасному объекту. Разработанная методология базируется на численном расчете распространения волн сжатия, формирующихся при аварийном взрыве на опасном объекте при наиболее неблагоприятном сценарии развития аварии. Математическая модель, описывающая взрывные нагрузки, действующие на ограждающие конструкции зданий при аварийном взрыве, основана на численном решении уравнений газовой динамики, а взрыв моделируется притоком продуктов взрывного горения в область предполагаемого места взрыва. Показано, что динамические параметры взрывных нагрузок в значительной степени зависят от объемно-планировочного решения городской застройки, расположенной вблизи опасного объекта. В статье приведены некоторые результаты расчетов, полученные для конкретного жилого комплекса города Москвы. Приведенные интегральные параметры максимальных взрывных нагрузок позволяют предметно говорить о потенциальной опасности для жилого комплекса взрывоопасного объекта – газораспределительного пункта (ГРП), который является неотъемлемой частью инфраструктуры города, вынос которого на более удаленные расстояния от жилого комплекса является достаточно проблематичной задачей в условиях плотной городской застройки. Предлагаемый метод расчета позволяет давать не только количественную оценку степени взрывоопасности объекта, но и количественно оценивать эффективность тех или иных инженерных мероприятий, направленных на снижение взрывных нагрузок, формирующихся при взрывах любой природы.

Взрывоопасность, городская застройка, волна сжатия, аварийный взрыв, параметр взрывной нагрузки, газораспределительный пункт, снижение взрывной нагрузки.

Введение. Поводом для настоящей публикации послужило наличие существенного влияния на поле взрывных нагрузок, реализующихся при аварийных взрывах на энергоемких объектах, пространственной структуры зданий и сооружений, прилегающих к взрывоопасному объекту. Данное обстоятельство приводит к значительному искажению сферической взрывной волны и перераспределению волновой энергии ударных волн или волн сжатия, сопровождающих аварийные взрывы и являющихся основными поражающими факторами взрывов.

Практическая значимость работы состоит в возможности оценки зон взрывобезопасности городских территорий, прилегающих к энергоемким объектам, с учетом реального расположения на данной территории зданий и сооружений. Результаты исследований позволяют также определять предполагаемые взрывные нагрузки на территории взрывоопасного производства и оценивать эффективность средств взрывозащиты.

Разработанная методика позволяет определять влияние городской застройки на поле взрывных нагрузок. Полученные в результате расчета газодинамической задачи динамические параметры предполагаемых взрывных нагрузок позволяют проводить прямой прочностной расчет наименее прочных элементов здания. Кроме этого, предлагаемый метод позволяет проводить оценку эффективности различных противовзрывных мероприятий.

Суть метода. В основе расчетной методики лежит численный расчет распространения волн сжатия, формирующихся при аварийном взрыве. Расчет базируется на численном интегрировании интегральных законов сохранения методом Годунова [2, 12].

Теоретической и методологической основой методики являются:

- Нестационарные уравнения газовой динамики.
- Численные методы решения краевых газодинамических задач.

Результаты расчета. Расчеты проводились для жилого комплекса, расположенного на юго-западе столицы. На рисунке 1 приведена расчетная область, в которой рассматривалось распространение волны сжатия (ВС), сформировавшейся при предполагаемом аварийном взрыве газоздушной смеси на энергоемком объекте города (ГРП), расположенном в 180 м от границы жилого массива.

Параметры огненного шара, который может сформироваться при наиболее неблагоприятном сценарии развития аварии, был определен из численного решения диффузионной модели.

Видимая скорость распространения пламени определялась по рекомендациям, приведенным [2, 7], и составляла $W = 90$ м/с.

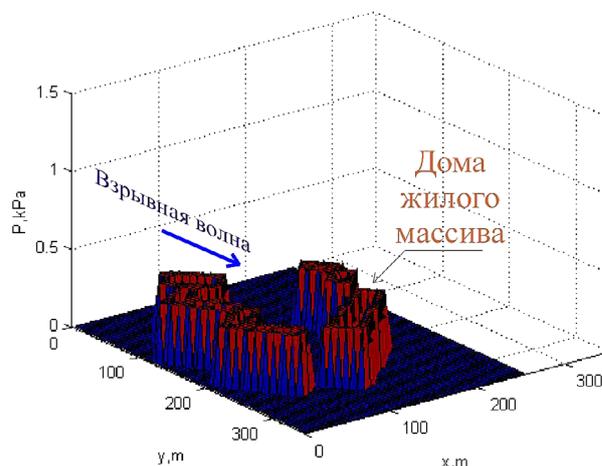


Рис. 1. Расчетная область, в которой рассматривалось распространение ВС, сформировавшейся при аварийном взрыве на ГРП

Параметры проходящей волны сжатия (ВС) на границе площадки жилой застройки со стороны взрывоопасного объекта представлены на рисунке 2. Из этого рисунка следует, что в проходящей волне давление не превышает 1 кПа (100 кГ/м²).

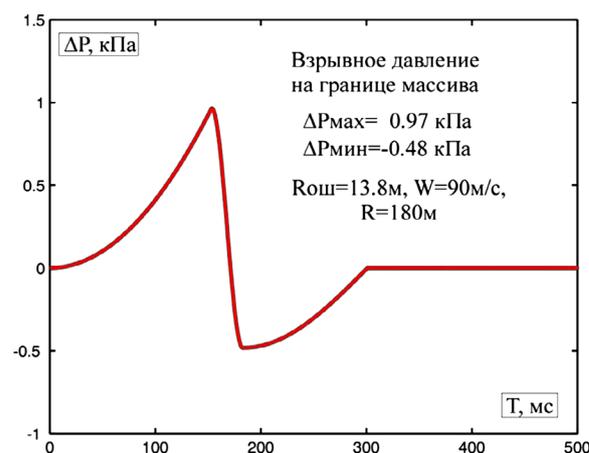


Рис. 2. Параметры проходящей волны сжатия (ВС) на границе площадки застройки

Для более детального рассмотрения прохождения ВС по территории жилого массива динамические параметры ВС

рассчитывались численным методом, подробно описанном [2]. При проведении расчетов в каждой точке пространства определялось максимальное взрывное давление за весь период действия ВС. В результате было построено поле максимальных давлений (рисунок 3) в волне сжатия, распространявшейся по жилому массиву.

Взрывное давление увеличивается за счет отражения волны сжатия от зданий, что хорошо видно на рисунке 3.

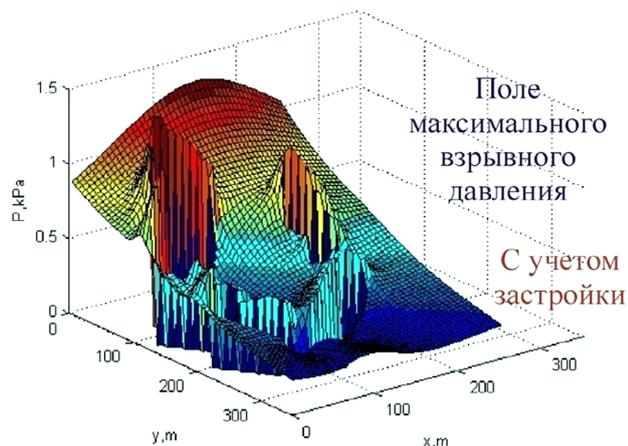


Рис. 3. Поле максимального взрывного давления в волне сжатия при ее распространении по жилому массиву

На рисунке 4 приведены изолинии равного давления в волне сжатия, построенные, исходя из данных, приведенных на рисунке 3.

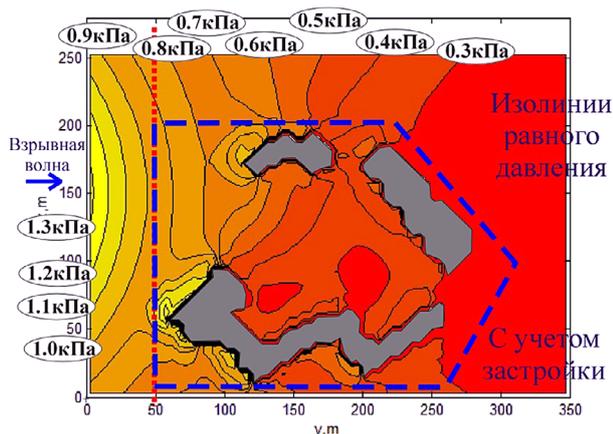


Рис. 4. Изолинии равного избыточного давления в волне сжатия при ее распространении по жилому массиву. Максимальная видимая скорость пламени 90 м/с

Из рисунка 4 следует, что на границе жилого массива максимальное взрывное давление не превысит 1 кПа даже при наиболее

неблагоприятном сценарии развития взрывной аварии на территории ГРП.

Максимальное избыточное давление, действующее на ограждающие конструкции зданий, не превысит 1,3 кПа. Такими здания являются здания, ближайšie к источнику взрыва (рисунок 4).

Аналогичные расчеты были выполнены для большей скорости распространения пламени при аварийном взрыве газовоздушной смеси на территории ГРП. Расчеты были выполнены для видимой скорости пламени $W = 110$ м/с. Результаты расчетов приведены на рисунке 5, где показаны изолинии равного давления в волне сжатия для повышенной видимой скорости пламени $W = 110$ м/с.

Из рисунка 5 следует, что максимальное взрывное давление на территории жилой застройки даже при завышенной скорости пламени не превысит 1,5 кПа.

Таким образом, взрывные нагрузки на здания и сооружения, которые расположены на территории жилого комплекса, даже при завышенной скорости пламени являются безопасными при условии заполнения оконных и балконных проемов конструкциями стеклопакетов, способными выдержать указанные нагрузки.

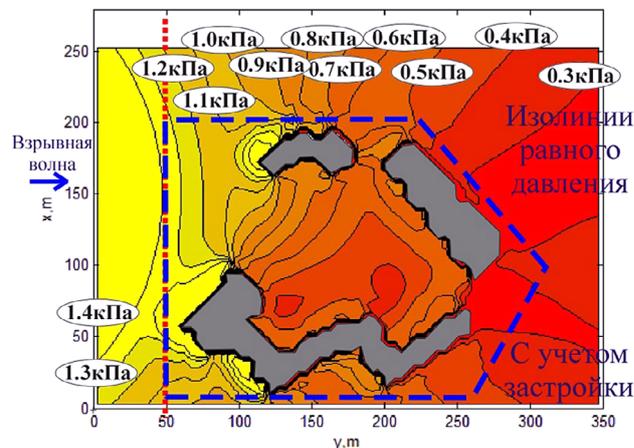


Рис. 5. Изолинии равного избыточного давления в волне сжатия при ее распространении по жилому массиву. Максимальная видимая скорость пламени 110 м/с

Выводы

Приведен пример расчета состояния взрывоопасности жилого массива, находящегося вблизи энергоемкого объекта – газораспределительного пункта (ГРП).

Получено, что давление в волне сжатия с учетом ее отражения от ближайшего к ГРП

здания не превышает 1,3...1,5 кПа, что является безопасным как для строительных конструкций здания, так и для людей, находящихся внутри и вне здания, при условии заполнения оконных и балконных проемов стеклопакетами с соответствующей прочностью.

На основании выполненных расчетов сделан вывод об удовлетворительном состоянии взрывобезопасности жилого массива, находящегося вблизи энергоемкого объекта.

Библиографический список

1. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей. Сб. документов Госгортехнадзор России, НТЦ «Промышленная безопасность», серия 27, вып.2. – М.: 2001. – 224 с.

2. **Комаров А.А.** Прогнозирование нагрузок от аварийных дефлаграционных взрывов и оценка последствий их воздействия на здания и сооружения. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. М. МГСУ. 2001. – 460 с.

3. ГОСТ Р 12.3.047-98 ССБТ «Пожарная безопасность технологических процессов». <http://docs.cntd.ru/document/1200003311>

4. **Бесчастнов М.Е.** Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение. – М.: Химия, 1991. – 432 с.

5. **Бейкер У., Кокс П., Уэстайн П., Кулещ Дж., Стрелю Р.** Взрывные явления. Оценка и последствия: В 2-х кн. Пер. с англ. – М.: Мир, 1986-319 с.

6. **Комаров А.А.** Анализ последствий аварийного взрыва природного газа в жилом доме. // Пожаровзрывобезопасность. – 1999. – т. 8, № 4. – С. 49-53.

7. **Мишуев А.В., Комаров А.А., Хуснутдинов Д.З.** Общие закономерности развития аварийных взрывов и методы снижения взрывных нагрузок до безопасного уровня. // Пожаровзрывобезопасность. – 2001. – т. 10, № 6. – С. 8-19.

8. **Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.** Механика сплошных сред. – М.: Гос. изд-во техн. – теорет. лит., 1953. – С. 788.

9. **Льюис Б., Эльбе Г.** Горение, пламя и взрывы в газах. – М.: ГИЛЛ, 1948. – С. 446.

10. **Макеев В.И.** Пожарная безопасность зданий, сооружений и объектов. // Пожаровзрывобезопасность. – 1992. – № 3. – С. 34-45.

11. **Горев В.А.** Исследование сферической дефлаграции. Докторская диссертация. М, 1993.

12. Численное решение многомерных задач газовой динамики. Под ред. Годунова С.К., – М.: Наука. 1976. 400 с.

13. ГОСТ 30826-2001 Стекло многослойное строительного назначения. М. 2003. 51 с.

14. **Пилюгин Л.П.** Конструкции сооружений взрывоопасных производств. – М.: Стройиздат, 1988. – С. 305.

15. **Абросимов А.А., Комаров А.А.** Механизмы формирования взрывных нагрузок на территории нефтеперерабатывающих комплексов. // Нефть, газ и бизнес. – 2002. – № 6 (50). – С. 58-61.

16. **Казеннов В.В.** Динамические процессы дефлаграционного горения во взрывоопасных зданиях и помещениях. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. М. МГСУ. 1997.

Материал поступил в редакцию 03.04.2019 г.

Сведения об авторах

Бажина Елена Витальевна, кандидат технических наук, доцент, НИУ МГСУ; 129337, г. Москва Ярославское шоссе, 26, e-mail: BazhinaEV@mgsu.ru

Комаров Александр Андреевич, доктор технических наук, профессор, руководитель НТЦ «Взрывоустойчивость», НИУ МГСУ, 129337, г. Москва Ярославское шоссе, 26, e-mail: bzbb@mail.ru

A.A. KOMAROV, E.V. BAZHINA

Federal state budgetary educational institution of higher education «National research Moscow state university of civil engineering» (NRU MSUCE), Moscow, Russian Federation

DETERMINATION OF THE EXPLOSIVE LEVEL OF THE URBAN SITE DEVELOPMENT ADJACENT TO POWER-INTENSIVE OBJECTS

The article gives an example of the quantitative determination of the explosive state of the urban site development located in the territory adjacent to the power-intensive and highly explosive object. The developed methodology is based on the numerical computation of the compression waves propagation formed during an emergency explosion at a dangerous object under the most unfavorable scenario of the accident development. The mathematical model

describing explosive loads acting on the enclosing structures of buildings during the emergency explosion is based on the numerical solution of gas dynamics equations, and the explosion is modeled by the inflow of explosive combustion products into the area of the intended explosion place. It is shown that dynamic parameters of explosive loads to a large degree depend on the space-planning decisions of the urban development located near the dangerous object. The article presents some results of calculations obtained for a particular residential complex in Moscow. The given integral parameters of the maximum explosive loads allow us to talk about the potential danger for the residential complex of an explosive object – gas distribution point (GDP), which is an integral part of the infrastructure of the city, the removal of which to more remote distances from the residential complex is quite a problematic task in dense urban development. The proposed calculation method allows us to give not only a quantitative assessment of the degree of explosion hazard of the object but also to quantify the effectiveness of certain engineering measures aimed at reducing explosive loads formed during explosions of any nature.

Explosion hazards, urban development, compression wave, emergency explosion, explosive load parameter, gas distributive point, explosive load reduction.

References

1. Metodika otsenki posledstviy avariynih vzryvov toplivno-vozdushnyh smesey. Sb. dokumentov Gostehnadzor Rossii, NTTS «Promyshlennaya bezopasnost», seriya 27, vyp. 2. – M.: 2001. – 224 s.
2. **Komarov A.A.** Prognozirovaniye nagruzok ot avariynih deflagratsionnyh vzryvov i otsenka posledstviy ih vozdeystviya na zdaniya i sooruzheniya. Dissertatsiya na soiskanie uchenoj stepeni doktora tehnikeskikh nauk. M. MFCV. 2001. – 460 s.
3. GOST R12.3.047-98 SSBT «Pozharnaya bezopasnost tehnologicheskikh protsessov». <http://docs.cntd.ru/document/1200003311>
4. **Beschastnov M.E.** Promyshlennyye vzryvy. Otsenka i preduprezhdenie. – M.: Himiya, 1991. – 432 s.
5. **Baker W., Koks P., Kulesh G., Weinstein P., Strelow R.** Vzryvnye yavleniya. Otsenka i posledstviya: V 2-h kn. Per. s angl. – M.: Mir, 1986-319 s.
6. **Komarov A.A.** Analiz posledstviy avariynogo vzryva prirodnogo gaza v zhilom dome. // Pozharovzryvobezopasnost. 1999. – t. 8, № 4. – S. 49-53.
7. **Mishuev A.V., Komarov A.A., Khusnutdinov D.Z.** Obshchie zakonomernosti razvitiya avariynih vzryvov i metody snizheniya vzryvnyh nagruzok do bezopasnogo urovnya. // Pozharovzryvobezopasnost. – 2001. – t.10. № 6. – S. 8-19.
8. **Landau L.D., Lifshits E.M.** Mehanika sploshnyh sred. – M.: Gos. izd-vo tehn. – teoret. lit., 1953. – S. 788.
9. **Lewis B., Elbe G.** Gorenije, plama i vzryvy v gazah. – M.: GILL, 1948. – S. 446.
10. **Makeev V.I.** Pozharnaya bezopasnost zdaniy, sooruzhenij i objektov. // Pozharovzryvobezopasnost. – 1992. – № 3. – S. 34-45.
11. **Gorev V.A.** Issledovanie sfericheskoj deflagratsii. Doktorskaya dissertatsiya. – M., 1993.
12. Chislennoe reshenie mnogomernyh zadach gazovoj dinamiki. Pod red. Godunova S.K. – M.: Nauka. 1976. 400 s.
13. GOST 30826-2001 Steklo mnogoslojnoe stroitel'nogo naznacheniya. M. 2003. 51 s.
14. **Pilyugin L.P.** Konstruktsii sooruzhenij vzryvopasnyh oroizvodstv. – M.: Strojizdat, 1988. – S. 305.
15. **Abrosimov A.A., Komarov A.A.** Mehanizmy formirovaniya vzryvnyh nagruzok na territorii neftepererabatyvayushchih kompleksov. // Neft, gaz i biznes. – 2002. – № 6 (50). – S. 58-61.
16. **Kazennov V.V.** Dinamicheskie protsessy deflagratsionnogo goreniya vo vzryvopasnyh zdaniyah i pomeshcheniyah. Dissertatsiya na soiskanie uchenoj stepeni doktora tehnikeskikh nauk. M. MGSU. 1997.

The material was received at the editorial office
03.04.2019 g.

Information about the authors

Bazhina Elena Vitaljevna, candidate of technical sciences, associate professor, NIU MSUCE; 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, e-mail: BazhinaEV@mgsu.ru

Komarov Aleksandr Andreevich, doctor of technical sciences, professor, head of STC «Explosion resistance», NIU MSUCE; 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, e-mail: bzbb@mail.ru