

PEACEFUL NUCLEAR EXPLOSIONS II



PANEL PROCEEDINGS SERIES

PEACEFUL NUCLEAR EXPLOSIONS II

THEIR PRACTICAL APPLICATION

PROCEEDINGS OF A PANEL
ON THE PRACTICAL APPLICATIONS OF
THE PEACEFUL USES OF NUCLEAR EXPLOSIONS
ORGANIZED BY THE
INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
AND HELD IN VIENNA
18-22 JANUARY 1971

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
VIENNA, 1971

CONTENTS

I. STATEMENTS ON NATIONAL PROGRAMS

Australia (IAEA-PL-429/11)	3
R. K. Warner	
France (IAEA-PL-429/12)	5
P. Théréné	
India (IAEA-PL-429/13)	7
R. Chidambaram	
Союз Советских Социалистических Республик (IAEA-PL-429/15)...	9
О.Л. Кедровский	
United Kingdom (IAEA-PL-429/14)	13
K. Parker	
United States of America (IAEA-PL-429/1)	15
J. S. Kelly	

II. INDUSTRIAL APPLICATIONS OF PNE

II. A. Natural Gas and Oil Reservoir Stimulation

Underground engineering applications, concepts and experience:	
Gas stimulation with PNE (IAEA-PL-429/3(I))	23
M. D. Nordyke	
Rulison: Underground engineering explosive and emplacement	
considerations (IAEA-PL-429/4)	61
L. Aamodt	
Concepts of natural gas field development with nuclear	
explosives (IAEA-PL-429/8)	85
G. W. Frank	
Применение камуфлетных ядерных взрывов для интенсификации	
добычи нефти (IAEA-PL-20(I))	105
О.Л. Кедровский	
Обеспечение радиационной безопасности при камуфлетных	
ядерных взрывах (IAEA-PL-20(II))	115
О.Л. Кедровский	
Industrial application of nuclear explosive engineering technology	
to natural gas reservoirs (IAEA-PL-429/6)	127
S. Smith	

II. B. Creation of Gas Storage

The storage of natural gas in cavities created by underground	
nuclear explosions (IAEA-PL-429/16)	139
K. Parker	

Gas storage application of PNE (IAEA-PL-429/7)	167
P.L. Randolph	
European gas storage: The application of nuclear explosives (IAEA-PL-429/9)	183
L. van der Harst	
Исследование камуфлетных ядерных взрывов в каменной соли с целью разработки технологии создания подземных хранилищ (IAEA-PL-429/22)	201
К.В. Мясников	

II. C. Extinguishing of Uncontrolled Gas Wells

Использования камуфлетных ядерных взрывов для ликвидации неуправляемых нефтяных и газовых фонтанов (IAEA-PL-429/20(III))	209
О.Д. Кедровский	

II. D. Other Applications

Other applications of PNE (IAEA-PL-429/3(II))	223
M.D. Nordyke	

III. EFFECTS AND SAFETY CONSIDERATIONS

III. A. Mechanical and Seismic Effects

Current practices and anticipated improvements in PNE (IAEA-PL-429/2)	235
A.D. Thornbrough	
Effets mécaniques d'une explosion nucléaire contenue (IAEA-PL-429/19)	253
H. Ferrieux et C. Guerrini	
Explosion seismology (IAEA-PL-429/17)	275
H.I.S. Thirlaway	

III. B. Radiological Assessments

Распространение радиоактивных продуктов в зоне разрушенной горной породы при камуфлетном ядерном взрыве и расчет возможного загрязнения нефти при интенсификации ее добычи (IAEA-PL-429/21)	283
Ю.А. Израэль, А.Я. Прессман, К.Г. Батаев и Е.Д. Стукин	
Radioactivity released by nuclear explosions (IAEA-PL-429/18)	295
K. Stewart	
A method for estimating the risk from a Plowshare detonation (IAEA-PL-429/10)	305
H.J. Otway	

Radiological safety considerations in the distribution of natural gas that contains radionuclides (IAEA-PL-429/5)	319
D.G. Jacobs and E.G. Struxness	

IV. SUMMARY AND CONCLUSIONS

Summary and conclusions	343
Films (shown at the Panel Meeting)	347
Secretariat	348
List of Participants	349

I. STATEMENTS ON NATIONAL PROGRAMS

AUSTRALIA

R.K. WARNER

1. Research and development studies on the peaceful uses of nuclear explosives are not undertaken in Australia. However, the Australian Atomic Energy Commission has maintained a continuing interest in developments in this field. The extent of this interest was outlined in the statement made at the Panel meeting in March, 1970, in Vienna [1].

2. Australia is a large, relatively dry continent in which a large proportion of the population lives in the south-eastern part of the country. Large areas are sparsely populated in the northern half of the continent, and projects involving nuclear explosives may well be required in the future to aid developments in these remote locations.

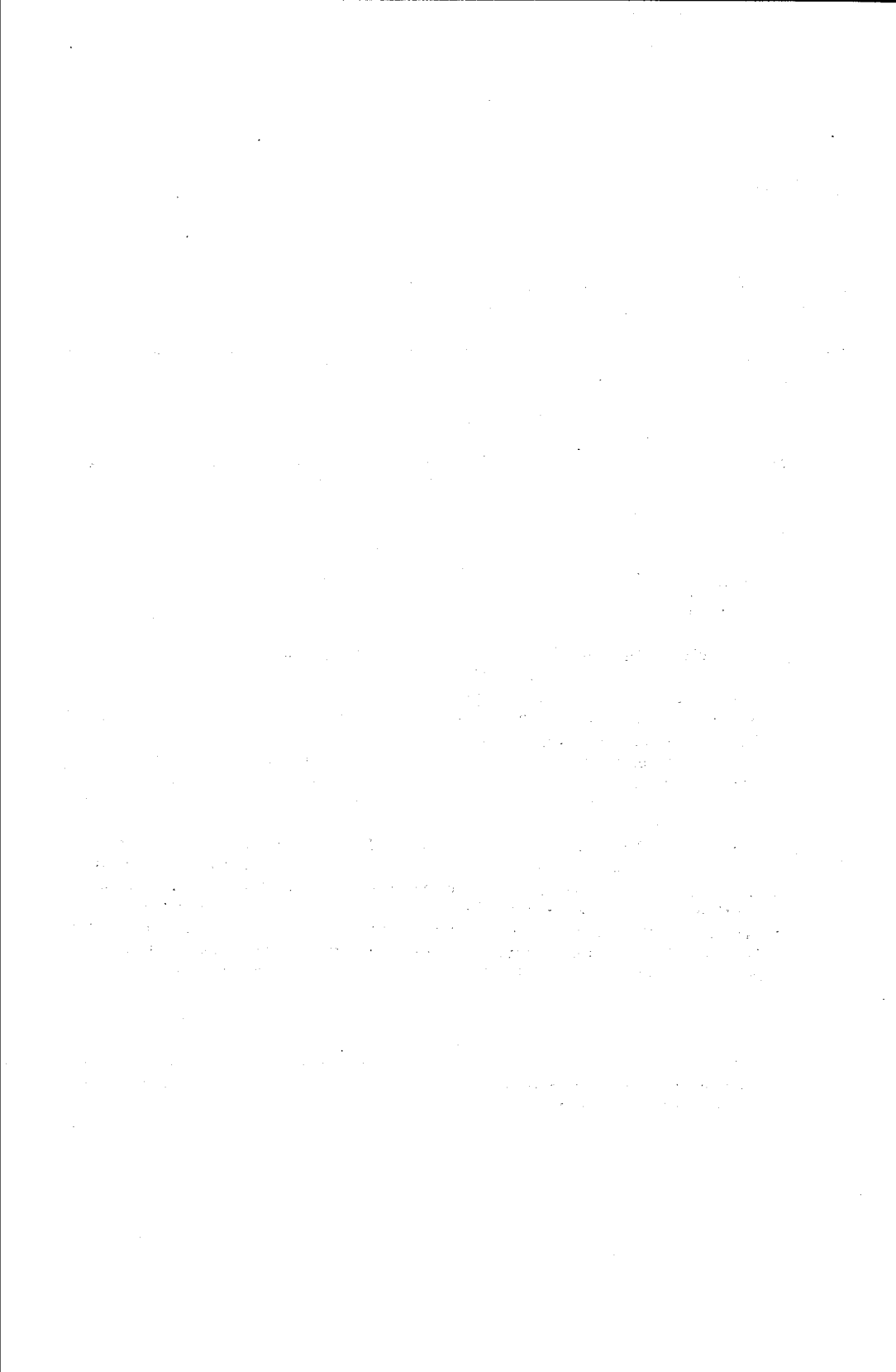
3. Uses of nuclear explosives for peaceful purposes in Australia can be envisaged which would encompass all of the proposed applications for civil and mining engineering, and could involve both cratering and fully-contained explosions.

4. Within the last decade there have been world-ranking discoveries of minerals in remote parts of Australia, and natural gas is now emerging as an important indigenous energy resource. Nuclear explosives may have an important role to play in the development of the country's mineral resources and in releasing natural gas contained in low permeability formations. Trans-mission distances for natural gas to be used in the populated areas will be relatively long in certain cases, and the creation of underground storage reservoirs by nuclear explosives close to the load centres may be required.

5. Australia therefore presents reasonable prospects for developmental projects requiring the peaceful uses of nuclear explosives, particularly contained explosions. The Atomic Energy Commission will continue, in co-operation with other governmental departments and instrumentalities, to study overseas developments and to advise as required local organizations on the relevance of nuclear explosion techniques to specific situations. The Commission welcomes this opportunity to participate in this Panel Meeting.

REFERENCE

- [1] WILSON, A. R. W., *Peaceful Nuclear Explosions: Phenomenology and Status Report*, 1970 (Proc. Panel, Vienna, 1970), IAEA, Vienna (1970) 3.



FRANCE

P. THERENE

Je n'ai pas grand-chose à signaler, en cette deuxième réunion du Groupe d'étude de l'utilisation des explosions nucléaires à des fins pacifiques (ENP), sur l'évolution récente de notre programme national, le représentant français (M. Gauvenet) ayant, en mars dernier, lors de la première réunion du groupe, fait un exposé complet sur les études menées, dans le domaine des ENP, par le Commissariat à l'énergie atomique.

Nous avons, au cours des derniers mois, continué à estimer que, compte tenu de l'expérience acquise antérieurement dans nos essais nucléaires et compte tenu des besoins exprimés, nous devions travailler en priorité sur la préparation d'explosions contenues, en recherchant comme applications possibles:

- le stockage d'hydrocarbures liquides ou gazeux
- la stimulation de gisements pétroliers
- l'extraction de minerais
- éventuellement l'utilisation des gaz formés par réactions chimiques dans les roches.

Nous avons continué à chercher à améliorer nos connaissances par un dépouillement très soigné des mesures effectuées au cours des 13 tirs souterrains exécutés, de 1961 à 1966, dans le massif granitique du Hoggar et sur lesquels nous avons publié, en particulier à la demande de l'Agence internationale de l'énergie atomique, un certain nombre de comptes rendus.¹ Nous poursuivons des études sur la mécanique des roches, l'évolution thermique et l'évolution de la radioactivité dans les cavités formées par l'explosion, l'architecture des engins à utiliser et aussi l'emploi de codes numériques de calcul.

En liaison avec les organismes industriels français que les ENP intéressent, nous recherchons des cas concrets d'utilisation et des sites géographiques possibles pour ces applications futures. Nous avons constitué des équipes de travail formées d'ingénieurs du Commissariat à l'énergie atomique et d'ingénieurs des organismes industriels, afin de sélectionner un petit nombre d'avant-projets.

Au mois de mai 1970, pour la première fois en France, nous avons organisé à Grenoble, en collaboration avec l'Institut polytechnique de cette ville, trois journées d'études sur les ENP, destinées aux ingénieurs, aux universitaires et aux industriels français. Les exposés et discussions, auxquels ont participé plusieurs ingénieurs étrangers, ont vivement intéressé les nombreux auditeurs. Ils ont souhaité, en conclusion de ces journées, qu'après certaines études de préparation, le Commissariat

¹ Voir: AIEA, Peaceful Nuclear Explosions (C. r. Groupe d'étude, Vienne, 1970), AIEA, Vienne (1970); USAEC, Engineering with Nuclear Explosives (C. r. Coll. Las Vegas, Nevada, 1970), USAEC, CONF-700101 (1970). Autre rapport soumis à l'AIEA: BERGER, J., Contribution française à l'étude des explosions nucléaires pacifiques (1970).

à l'énergie atomique procède assez rapidement à une expérimentation pilote, puis, au cours des prochaines années, à des essais de véritable application industrielle menés en association avec d'autres organismes d'Etat ou des sociétés privées.

C'est le programme que nous proposons à notre Gouvernement dans le cadre du VI^e Plan qui porte sur les années allant de 1971 à 1975; si nous obtenons la participation financière de l'industrie française, nous espérons pouvoir définir prochainement ce programme et avoir ainsi la possibilité de l'exposer à la prochaine réunion du Groupe d'étude que l'AIEA organisera.

Par ailleurs, j'indique notre intention d'organiser si possible au début de 1972 une série de cours de quelques semaines sur les applications industrielles des explosions nucléaires à l'Institut national des sciences et techniques nucléaires de Saclay, qui dispense déjà un enseignement de génie atomique. Ces cours seront ouverts, comme ceux de génie atomique, aux ingénieurs étrangers. Dès que possible, nous communiquerons à l'AIEA tous les renseignements utiles.

Nous sommes confiants dans l'avenir industriel des techniques que nous étudions et que nous sommes déjà prêts à mettre en pratique, mais en restant persuadés qu'un effort psychologique considérable doit être mené, parallèlement à l'effort technique, afin de bien informer les populations des différents pays concernés et de lutter contre la crainte instinctive dont est entouré l'explosif nucléaire. L'AIEA a, dans ce domaine, un rôle primordial à jouer sur le plan mondial. Nous serons toujours heureux de lui apporter notre contribution.

INDIA

R. CHIDAMBARAM

As described in our statement at the last panel meeting [1], one of our main interests was in the possible application of contained nuclear explosions to the mining of low-grade ores of non-ferrous metals and this continues to be so. We hope that the information that is made available in the present Panel meeting on contained PNE experiments and industrial projects would serve to bring into better focus the more promising applications and would enable various countries, which are not at present active in this field, to evaluate the economic feasibility of specific projects of local importance.

REFERENCE

- [1] CHIDAMBARAM, R., Peaceful Nuclear Explosions: Phenomenology and Status Report, 1970 (Proc. Panel, Vienna, 1970), IAEA: Vienna (1970) 9.

СОЮЗ СОВЕТСКИХ СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ РЕСПУБЛИК

О. Л. КЕДРОВСКИЙ

В последнее десятилетие внимание советских ученых, как и специалистов многих стран мира, привлечено к использованию энергии ядерных взрывов в различных отраслях промышленности. В соответствии с программой использования промышленных подземных ядерных взрывов все работы по этому направлению выполняются в несколько этапов.

На первом этапе в результате выполненных научно-исследовательских работ, технических и экономических расчетов и проведенных экспериментов, была обоснована возможность и, при определенных условиях, целесообразность применения ядерных взрывов в горнодобывающей, нефтяной, газовой и других отраслях промышленности.

В последние годы были успешно проведены опытные одиночные камуфлетные ядерные взрывы в конкретных условиях промышленного производства. Участки промышленных производств, в которых были проведены взрывы, тщательно изучались и исследовались. В результате, установлено, что эксплуатационные параметры и характеристики этих участков выше, чем аналогичные данные соседних участков. Положительные инженерные свойства сооружений, созданных взрывом, дают основание надеяться на их последующее использование в промышленности.

Все это подтверждает возможность эффективного применения взрывов в будущем для интенсификации добычи нефти, газа, создания подземных емкостей — хранилищ, дробления руд с целью их выемки системами с массовым обрушением или выщелачиванием, ликвидации неуправляемых газонефтяных фонтанов и для других промышленных целей.

Однако на современном уровне знаний о воздействии ядерного взрыва на ограниченное число горных пород, при существующем многообразии горногеологических условий и недостаточной изученности эффектов, сопровождающих взрывы, необходимо увеличить количество опытных промышленных взрывов в различных условиях и тем самым в будущем создать основу для применения ядерных взрывов в промышленных масштабах.

Использование взрывов в мирных целях влечет за собой необходимость решения комплекса вопросов, вызываемых спецификой применения ядерной энергии, требует рассмотрения всех возникающих проблем как с точки зрения эффективности, так и с точки зрения безопасности.

Следует отметить, что установление оптимальной мощности ядерного заряда — сложный вопрос, так как увеличение мощности заряда осложняет решение вопросов безопасности. Иногда при разработке проектов проведения опытного взрыва, для обеспечения сейсмической безопасности, мощность ядерных зарядов приходится заведомо занижать, чем следовало бы это делать по промышленно-технологическим соображениям. При проведении каждого ядерного взрыва возникают частные задачи, решать которые необходимо, исходя из конкретных условий. Вполне естественно, что с проведением взрывов в больших масштабах количество таких задач будет увеличиваться.

Для разведки участков, где проводятся взрывы, для бурения зарядных скважин и осуществления контроля за движением продуктов радиоактивного распада в недрах земли, а также для проведения сейсмических и радиационных мероприятий по безопасности необходимо затрачивать значительные средства. Эффективность этих затрат в случае использования ядерных взрывов в промышленных масштабах можно будет определить только после проведения большого числа опытных взрывов, необходимых для разработки и освоения новой промышленной технологии, соответствующей этому мощному виду энергии.

Современный уровень знаний и накопленный опыт позволяют при проведении подземных ядерных взрывов:

1. Обеспечивать полное камуфлетное действие взрыва.

Для получения истинного представления о действии взрыва в ближней зоне на горные породы необходимо глубоко изучить их физико-механические свойства, а также взаимное влияние газовой пористости пород на эффект взрыва с точки зрения камуфлетности и формирования полости.

2. В зависимости от ожидаемого эффекта взрыва выбирать места заложения заряда на основании тщательно изученных материалов геологических и гидрогеологических изысканий, избегая наличия тектонических нарушений, сбросов и участков пород с высокой проницаемостью.

Эти меры полностью не исключают возможности переноса радионуклидов. Для широкого применения взрывов в промышленных масштабах следует продолжить детальное изучение и накопление информации по вопросам геологических и гидрогеологических условий, включающих в себя:

миграцию продуктов взрыва по обводненным горизонтам; микро- и макротрещиноватость пород в ближней зоне взрыва; пористость, фильтрацию, приемистость пластов после взрыва; физико-механические свойства горных пород после взрыва (вторичные свойства пород: временное сопротивление сжатию, угол внутреннего трения, удельное сцепление, модуль деформации, коэффициент Пуассона, коэффициент однородности, относительные величины деформаций ползучести); релаксацию напряжений за счет развития деформаций (ползучести и трещиноватости).

Перечисленные вопросы требуют проведения большого объема исследовательских, экспериментальных и теоретических работ, без которых невозможно проектировать с определенной степенью надежности.

3. Прогнозировать основные параметры вынужденных колебаний поверхности грунта, вызванных подземными ядерными взрывами, исходя из мощности взрыва, расстояния и горногеологических условий.

В случае проведения взрывов вблизи густонаселенных районов такие прогнозы не достаточны для того, чтобы произвести точную оценку сейсмического эффекта на различные здания и сооружения, находящиеся в зоне сейсмического действия взрыва, и определить с достаточной достоверностью качественную и количественную степень вероятных повреждений.

Многообразие влияющих факторов, которые несут вероятностный характер, приводит к необходимости широкого изучения и сопоставления всех факторов, влияющих на сейсмическое действие взрыва с привлечением математической статистики и теории вероятностей.

Такой подход к оценке сейсмического действия взрывов требует накопления и тщательного изучения статистических материалов по подземным ядерным взрывам, проводимым в различных горногеологических и гидрогеологических условиях.

4. Прогнозировать характер и степень разрушения горных пород при воздействии одиночных подземных ядерных взрывов в зависимости от мощности заряда и расстояния от точки взрыва.

Однако до получения достаточного количества экспериментальных и теоретических данных по влиянию физико-механических свойств пород на процесс распределения энергии взрыва в массиве и до повышения степени изученности вторичных физико-механических свойств горных пород после взрыва нельзя дать должным образом обоснованную количественную оценку воздействия взрыва на различные породы. Это создает трудности для технологов заинтересованных отраслей промышленности по разработке новых надежных промышленных технологических схем с применением взрывов. Следовательно, необходимо проводить также опытные промышленные взрывы для продолжения экспериментальных работ по созданию новых технологических схем.

5. Давать оценки степени загрязнения некоторых полезных ископаемых в зависимости от особенностей заряда, технологии производства взрыва и дальнейшей технологии разработки полезного ископаемого, а также от времени, прошедшего с момента взрыва.

Отсутствие по многим полезным ископаемым необходимой фактической информации для сопоставления с такими оценками еще не позволяет должным образом обосновывать технику доводки или переработки подземного ископаемого до безопасной степени его загрязнения.

Следовательно, вполне успешное проведение нескольких опытных промышленных взрывов, а также создание оценочных проектов на перспективу применения этих взрывов еще не позволяют провести необходимые технико-экономические расчеты и обоснования для использования ядерных взрывов в промышленных масштабах.

Предстоит провести огромную работу по осуществлению большого количества одиночных, групповых и массовых опытных камуфлетных взрывов различного технологического назначения и в разнообразных горногеологических условиях, а также соответствующие научно-исследовательские работы и проектно-технические разработки. Все это в дальнейшем создаст основу для составления технических руководств, с необходимыми научными и расчетными обоснованиями, по использованию камуфлетных взрывов.

Сейчас есть все основания утверждать, что, благодаря упорному труду ученых, инженеров и работников промышленности, уже в недалеком будущем станет возможным применять подземные ядерные взрывы в широких промышленных масштабах, так же как сейчас применяются массовые взрывы обычных химических взрывчатых веществ.

