

О КРИТЕРИЯХ ОЦЕНКИ ВЗРЫВООПАСНОСТИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ И ПЕРЕРАБОТКЕ ВЗРЫВЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВИБРАЦИИ

Н. П. Логинов

Самарский государственный технический университет, 443010 Самара

Проведен анализ используемых методов и критериев оценки взрывоопасности переработки взрывчатых материалов (ВМ) с применением механических воздействий, и указано на отсутствие таковых при переработке ВМ по вибрационной технологии. Предложены новый способ и критерий оценки взрывоопасности при вибрационной обработке ВМ. Критерий рассчитан по результатам экспериментального определения чувствительности ВМ к вибрации и сравнения критических параметров вибронагрузок, вызывающих взрыв или значительное разложение ВМ, с параметрами вибрации при переработке ВМ на вибрационных установках. Приведены примеры расчета коэффициента взрывобезопасности для гексогена, тротила и аммонита при вибропрессовании и вибротранспортировании.

Взрывчатые материалы (ВМ) способны к взрывчатому превращению при действии внешних импульсов различных видов. Способность ВМ взрываться при механических воздействиях называют чувствительностью к конкретным видам механической нагрузки — удару, трению, наколу, вибрации [1–6]. Указанные виды механического воздействия характеризуются разной интенсивностью импульса, степенью его локализации, продолжительностью и характером деформационных и тепловых процессов в ВМ. По этой причине оценка критических и безопасных параметров механического воздействия на ВМ часто проводится по критериям, взятым из тепловой теории воспламенения [7], или по критериям, определяющим переход горения во взрыв [8]. При этом, однако, не учитывается специфика процесса разложения ВМ под действием механической нагрузки, в частности возможность ускорения разложения твердых ВМ за счет механоактивации их частиц, понижения химической и физической стабильности ВМ при достаточно длительной обработке.

Цель данного исследования — разработка способа определения и расчета критерия взрывобезопасности переработки ВМ по вибрационной технологии.

Известные количественные оценки пожаро- и взрывоопасности технологических процессов с различным оборудованием основаны на расчете коэффициентов опасности и статистико-вероятностном расчете

степени риска [9, 10]. По данной методике все характеристики пожаро- и взрывоопасности сырья, полуфабрикатов и готовой продукции, а также параметры технологического процесса и технические характеристики оборудования (давление, температура, скорость, нагрузка и др.) разбиваются на группы (индексы). Общий индекс пожаро- и взрывоопасности получается умножением отдельных индексов (коэффициентов). По значениям общего индекса, которые находятся в интервале $0 \div 100$ %, устанавливается степень опасности производства. Расчеты по этой методике показали, что технологии обработки ВМ с использованием механических воздействий (прессование, дробление, шнекование) соответствует коэффициент-индекс, равный $75 \div 90$ %, а при гидромеханических воздействиях (смешивание, транспортирование) — равный $25 \div 50$ %. Однако метод индексов не в полной мере обеспечивает надежное прогнозирование, поскольку не учитываются многие важные, но случайные факторы.

Другой методикой оценки пожаро- и взрывоопасности является оценка степени риска, определяемая вероятностью работы оборудования без аварии в течение заданного срока. Степень риска определяется на основе статистической обработки большого количества наблюдений с применением теории вероятности. По данным работы [10] степень риска отечественных машиностроительных производств составляла $4 \cdot 10^{-5}$, транспорта — $2,7 \cdot 10^{-4}$. Для рас-

чета степени риска в качестве исходных данных используются число (N) элементов системы (операция, фаза, оборудование, производство), время их эксплуатации (τ), количество отказов (K). Величина K зависит от всего периода эксплуатации производств и находится в соответствии с принятым планом наблюдения по ГОСТ 27.502-83. Согласно работам [9–11] степень риска R в производстве промышленных взрывчатых веществ (ВВ) можно рассчитать по формуле $R = 1 - e^{-K/N\tau}$. При пресовании изделий $R \approx 2 \cdot 10^{-3}$. Снижение степени риска возможно при учете многих субъективных и объективных факторов и применении современных технических, организационных и других методов, прежде всего связанных с более надежным прогнозированием пожаро- и взрывоопасности ВМ, прочности, надежности и безопасности технологического оборудования.

Одной из главных причин возникновения нештатных ситуаций при работе с взрывоопасными материалами является способность ВМ разлагаться, загораться или взрываться под действием внешних механических и тепловых нагрузок. Длительная практика обращения с ВМ позволила установить их относительную взрывоопасность при механических воздействиях и расположить их в ряд по мере возрастания взрывоопасности при их изготовлении и применении. В результате получен опорный ряд ВВ: гремучая ртуть, азид свинца, тэн, октоген, гексоген, тетрил, тротил [1–3]. Он построен преимущественно по оценкам чувствительности к удару и трению [2, 3].

Разные методы оценки с применением различных типов испытательных приборов и устройств часто дают неодинаковые ряды чувствительности, не совпадающие с опорным рядом. Причинами такого несоответствия являются разные условия нагружения ВМ, что приводит к различию деформационных и усталостных процессов и механизмов разрушения ВМ. При этом во многих случаях не учитываются химическая стойкость, кинетические, физико-химические и электрические характеристики ВВ, а о чувствительности к удару и трению судят по частоте появления взрывов; по высоте падения груза определенной массы в заданных конструкциях роликовых приборов, на которой взрыв еще не возбуждается (нижний предел); по удельной работе удара или трения либо по

напряжению, способному вызвать взрыв, при ударе по открытому объему ВМ [1–3, 12].

Механизм возбуждения взрыва при разных видах воздействия существенно отличается и остается еще не изученным, но ясно одно: из-за неоднородности твердых и жидких ВМ имеет место локализация деформационных и тепловых процессов на дефектах кристаллической структуры твердых ВВ, на пустотах и пузырьках газа в объеме жидких ВМ при высокой неоднородности смесевых ВМ.

Взрывоопасность ВМ зависит не только от способности к возбуждению взрыва, но и от способности к его распространению, т. е. от передачи химической реакции на другие участки образца, находящиеся под нагрузкой, или на ненагруженную часть, расположенную рядом с ним.

Существующие методы оценки чувствительности к удару, быстрому сдвигу, длительному трению неприменимы для оценки чувствительности ВМ к вибрации, поскольку не учитывают ее основных особенностей — периодичности изменения напряжений и деформаций, большой общей продолжительности процесса и малой длительности каждого цикла нагружения.

При работе с ВМ необходимо надежно определить параметры внешнего механического воздействия, при которых возникает прогрессирующее разложение, горение и взрыв ВМ, т. е. установить зависимости степени разложения α и вероятности взрыва W_i от частоты ω , амплитуды A , ускорения колебаний a , динамической нагрузки P_d и ее отношения к статической составляющей общей нагрузки ($P_d/P_{ст}$), энергии вибрации Q , поглощенной образцом, общего времени вибрации t [4–6, 13, 14]:

$$W_i = U_1(\omega, A, a, P_d, P_d/P_{ст}, Q, t),$$

$$\alpha = U_2(\omega, A, a, P_d, P_d/P_{ст}, Q, t).$$

Для нахождения этих зависимостей автором была предложена следующая методика. Навеска ВМ массой 0,05 г подвергается воздействию вибрационной и статической нагрузок с заданными параметрами на виброустановке, описанной в работах [4–6]. Перед началом испытаний ВМ помещают между двумя стальными роликами в роликовом приборе, подпрессовывают до определенного статического давления и включают вибратор, который в течение некоторого времени создает циклическую

Таблица 1

Чувствительность промышленных ВМ к вибрации

ВМ	ω , Гц	A , мм	a , м/с ²	P_d , МПа	$P_{ст}$, МПа	$P_d/P_{ст}$	W_i , %	α , %
Гексоген	150	0,60	13,5	350	21	16,7	100	100
	135	0,62	11,4	364	42	8,7	80	80
	135	0,52	9,6	347	67	5,2	10	10
	135	0,40	7,3	342	84	4,1	0	1,7
	100	0,15	1,5	300	600	0,5	0	0,7
Тротил	150	0,60	13,5	350	21	16,7	0	1,1
	135	0,65	11,9	58	12	4,8	0	0,7
	135	0,50	9,1	58	24	2,5	0	0,5
	90	0,65	5,3	26	12	2,2	0	0,3
	50	0,40	3,2	26	36	0,7	0	0,2
Аммонит 6ЖВ	150	0,60	13,5	350	21	16,7	0	0,7
	135	0,62	11,4	58	12	4,7	0	0,3
	90	0,65	5,2	26	12	2,2	0	0,2
	50	0,65	3,2	26	21	1,2	0	0,1

Примечание. Вероятность взрыва W_i определяли в приборе № 1а с отверстием диаметром 1 мм в центре нижнего ролика. В роликовых приборах № 1 и 2 эти ВМ не взрывались.

нагрузку с заданными параметрами. В ходе опыта с помощью термодпары, введенной через нижний ролик или муфту в зону контакта ВМ с поверхностью ролика или муфты, непрерывно измеряют температуру образца. Вероятность взрыва W_i определяют по результатам десяти параллельных опытов, в которых регистрируются взрыв либо отказ [4].

Степень разложения α определяют по результатам опытов с образцами ВМ на той же виброустановке путем размещения роликового прибора с образцом ВМ в герметичной камере, обеспечивающей накопление газообразных продуктов, выделяющихся из образца ВМ в ходе его разложения, вызванного вибрацией, при заданных параметрах вибрационного, статического и термического воздействий [13, 14].

Для ускорения определения W_i целесообразно при массовых испытаниях ограничивать время вибронагружения 30 с. В опытах [4–6] установлена зависимость вероятности взрыва от определяющих параметров некоторых широко используемых промышленных ВВ. Исходя из этих данных, можно установить критические параметры вибрации для сравнительно чувствительных к вибрации ВМ, способ-

ных взрываться при частотах колебаний $40 \div 200$ Гц, амплитудах колебаний $0,05 \div 6$ мм. Но некоторые ВМ, например тринитротолуол (ТНТ), тринитробензол, аммонит 6ЖВ, динафталит, игданит, мипорит, аммиачно-селитряные ВМ с добавками нефтепродуктов, в указанных условиях механического воздействия не взрываются. Поэтому для них целесообразно вместо вероятности возникновения взрыва воспользоваться в качестве критерия степенью (α) или скоростью ($d\alpha/dt$) разложения с целью классификации их по чувствительности к вибрации. Степень разложения находят по уравнению

$$\alpha = (\Delta p_i / \Delta p_{п}) \cdot 100 \%,$$

где Δp_i — избыточное давление газов за определенное время (с точностью до 10 Па), $\Delta p_{п}$ — избыточное давление газов при полном разложении того же количества ВМ в такой же герметичной камере или при его полном сгорании. Некоторые данные по оценке чувствительности ВМ к вибрации представлены в табл. 1.

Из табл. 1 следует, что чувствительность гексогена, ТНТ и аммонита 6ЖВ зависит от частоты, амплитуды, ускорения колебаний и

отношения динамической нагрузки к статической. При высоких значениях этих параметров достигаются пороговые значения параметров вибронегрузки, при которых происходит переход медленного разложения во взрыв. Однако до достижения критических значений указанных параметров вибронегрузки классификация ВМ по чувствительности к вибрации, не превышающей критических значений ее параметров, неосуществима, потому что эти ВМ не взрываются при реально достижимых значениях параметров вибрации.

Из данных табл. 1 следует также, что только гексоген при $\omega = 135 \div 150$ Гц имеет вероятность взрывов $W_i = 0 \div 100$ %, а ТНТ и аммонит 6ЖВ не взрываются даже при повышении частоты колебаний до 150 Гц, но все эти ВМ при вибронегрузке даже с низкими параметрами вибрации химически разлагаются. Поскольку степень разложения для любого ВМ можно измерить предлагаемым в данной работе способом, этот показатель вполне пригоден для определения безопасных или критических параметров вибровоздействия при использовании вибрационной технологии в ходе получения и переработки ВМ. По аналогии со степенью разложения ВВ при тепловых воздействиях, используемой в качестве характеристики химической стабильности ВВ при нагревании [12], допустимое значение степени разложения за время пребывания ВМ в активной зоне виброустановки не должно превышать 1 % массы единовременной загрузки ВМ. Вибрационную нагрузку, способную вызвать разложение более 1 % ВМ в ходе технологической операции, следует считать недопустимой по соображениям безопасности и сохранения эксплуатационных свойств ВМ.

В качестве характеристики безопасности технологических операций с ВМ при вибрационном воздействии в данной работе предлагается использовать новый критерий, называемый коэффициентом взрывобезопасности K_6 . Он характеризует степень удаленности энергетических показателей, соответствующих конкретному виду механического воздействия, от критических значений энергетических параметров, найденных для данного ВМ при испытаниях на виброустановке, описанной в работах [4–6].

Для определения энергонапряженности работы любой виброустановки необходимо установить средний уровень затрат энергии на со-

вершение определенной работы, достаточной для достижения требуемого технического эффекта [11], а затем сравнить его с критическим уровнем энергонапряженности. Последний соответствует уровню энергонапряженности, вызывающему разложение более 1 % ВМ за время воздействия вибронегрузки на одну и ту же порцию ВМ либо вызывающему воспламенение или взрыв. Кроме того, коэффициент безопасности должен учитывать физические, физико-химические, механические свойства конкретных ВМ или их наиболее взрывоопасных компонентов.

В общем виде коэффициент безопасности можно выразить зависимостью

$$K_6 = K_3 K_B K_T K_M, \quad (1)$$

где K_3 — коэффициент энергонапряженности при вибрационной обработке, K_B — коэффициент, учитывающий удаленность заданной температуры от начальной температуры ВМ и температуры его вспышки, K_T — коэффициент, который учитывает удаленность фактической температуры переработки от температуры плавления ВВ, K_M — коэффициент, учитывающий изменение механических характеристик ВМ при вибрационной обработке. Каждый из коэффициентов является безразмерной величиной и может быть рассчитан по соответствующим зависимостям.

Коэффициент энергонапряженности при виброобработке находят по соотношению

$$K_3 = \frac{W_{кр}}{m_1} / \frac{W_{\phi}}{m_2}. \quad (2)$$

Для виброустановки с электромеханическим вибратором справедливы уравнения

$$W_{кр} = 2m_e A \omega_{кр}^2, \quad (3)$$

$$W_{\phi} = 2m_e A \omega^2. \quad (4)$$

Здесь $W_{кр}$, W_{ϕ} — соответственно критическое и фактическое значения энергии, затраченной при виброобработке ВМ, отнесенные к его массе, кДж/кг; m_e — масса дебаланса вибратора (масса эксцентрикового вала, центр тяжести которого смещен от его горизонтальной оси вращения на величину эксцентриситета), кг; ω — угловая частота колебаний, Гц; A — амплитуда, м; m_1 — масса ВМ в испытательном приборе на виброустановке, а m_2 — в натурном виброаппарате, кг.

Учет свойств и реакционной способности ВМ при определении K_6 целесообразно осуществить путем введения коэффициента K_B , связанного с температурой вспышки (T_B), начальной (T_0) и максимальной (T_i) температурами вибрационной обработки ВМ:

$$K_B = \frac{T_B - T_0}{T_i - T_0} \quad (5)$$

(T измеряется в К).

Таким же образом с помощью коэффициента K_T можно учесть влияние перехода из твердого фазового состояния ВМ (или его взрывчатых компонентов) в жидкое или пластическое состояние, что может привести при вибрации к появлению кавитационного эффекта в жидкой среде, схлопыванию газовых полостей и к локальному резкому повышению температуры и давления с нежелательными последствиями для данного производства:

$$K_T = \frac{T_{пл} - T_0}{T_{пл} - T_{ф}}, \quad (6)$$

где $T_{пл}$ — температура плавления ВМ, $T_{ф}$ — фактически достигаемая температура ВМ.

Коэффициент K_M предназначен для учета влияния таких физико-механических показателей ВМ, как предел прочности при растяжении, сжатии, сдвиге, а также относительной неупругой деформации образца ВМ до момента разрушения:

$$K_M = \frac{\sigma_{пр} - \sigma_0}{\sigma_{пр} - \sigma_i} \cdot \frac{\varepsilon_{п} - \varepsilon_0}{\varepsilon_i - \varepsilon_0}. \quad (7)$$

Здесь $\sigma_{пр}$ — предел прочности при растяжении, Н/м²; σ_0 — начальное напряжение, действующее на образец ВМ до вибрации; σ_i — максимальное напряжение, действующее при виброобработке; ε_0 , ε_i — относительная деформация образца ВМ в начальный момент времени и в текущий момент виброобработки; $\varepsilon_{п}$ — предельная относительная деформация ВМ перед разрушением.

Подставляя значения всех коэффициентов в уравнение (1), получим обобщенный критерий взрывоопасности для различных технологических операций с применением вибрации.

Экспериментально установлено, что при $K_6 \gg 1$ технологическая безопасность обеспечивается полностью, с большим запасом, а при $1 < K_6 < 10$ ее недостаточно для обеспечения

безаварийной работы с ВМ, и поэтому необходимо либо уменьшить параметры вибронагрузки и температуру, либо заменить технологическое оборудование более безопасным.

При переработке ВВ с температурой плавления $T_{пл} \geq 473$ К коэффициенты K_T и K_M незначительно отличаются от единицы, и тогда коэффициент безопасности K_6 можно определить по выражениям

$$K_6 = K_B K_T, \quad (8)$$

$$K_6 = \frac{m_e A_{кр} \omega_{кр}^2 m_2 t_2}{m_e A \omega^2 m_1 t_1} \cdot \frac{T_B - T_i}{T_B - T_0}, \quad (9)$$

где t_1 — время действия вибрации на образец ВМ массой m_1 на виброустановке с гидравлическим прессом и электромеханическим вибратором [4–6], t_2 — время действия вибрации на ВМ массой m_2 при выполнении любой технологической операции на виброустановке.

С использованием уравнений (1), (8), (9) были проведены расчеты коэффициента взрывобезопасности для операций вибрационного прессования и вибрационного транспортирования промышленных ВМ — гексогена, ТНТ и аммонита 6ЖВ. Результаты опытов и значения K_6 приведены в табл. 2.

Критические параметры вибрационной нагрузки и тепловой энергии для гексогена, способные вызвать прогрессивное разложение с переходом его во взрыв, составляют: $\omega_{кр} = 110$ Гц, $A = 1,5$ мм, $m_e = 0,23$ Н·м, $T_0 = 323$ К.

Рассмотрим процесс вибрационного прессования при $\omega = 80$ Гц, $A = 0,8$ мм, $m_e = 0,23$ Н·м, $T_0 = 293$ К. Расчет показал, что вибропрессование с вышеуказанными параметрами вибрации при $K_6 = 15,2$ является безопасным, но близким к границе предельных параметров нагружения. Поэтому желательно уменьшить частоту или амплитуду колебаний либо то и другое вместе, чтобы повысить коэффициент взрывобезопасности до значений, превышающих 20. Такой результат может быть достигнут, например, за счет уменьшения частоты колебаний до 50 Гц при сохранении остальных параметров.

Однако значительное снижение параметров вибрации может существенно уменьшить эффективность вибровоздействия на ВМ с достижением требуемого технологического эффекта. Поэтому целесообразно выбрать оптимальные параметры вибровоздействия на ВМ с точки зрения безопасности и эффективности,

Таблица 2

Расчет коэффициента безопасности по данным экспериментов
при технологических операциях вибропрессования и вибротранспортирования ВМ

Номер опыта	ВМ	ω , Гц	A , мм	a , м/с ²	P_d , МПа	$P_{ст}$, МПа	$\frac{P_d}{P_{ст}}$	t , с	m , г	W_i , %	α , %	K_6
1	Гексоген	110	1,5	18,2	23,6	12	1,90	30	0,1	10	3	0
2		80	0,8	5,1	6,7	12	0,56	30	0,5	0	0,72	15,2
3		50	2,0	5,0	6,5	12	0,54	30	0,5	0	0,58	23,4
4		50	0,8	2,0	2,6	12	0,22	60	0,5	0	0,42	58,5
5		30	1,5	1,8	2,3	12	0,19	60	0,5	0	0,12	76
6	ТНТ	150	1,5	33,7	43,8	24	1,80	30	0,1	0	1,2	1
7		110	1,5	18,2	23,6	12	1,96	30	0,5	0	0,43	5,8
8		110	0,8	9,7	12,6	12	1,05	30	0,5	0	0,28	12,4
9		80	1,0	6,4	8,3	12	0,69	30	0,5	0	0,24	19,7
10		50	2,0	5,0	6,5	8	0,81	30	0,5	0	0,20	25,8
11	Аммонит 6ЖВ	150	1,5	33,7	42,0	24	1,68	30	0,1	0	1,0	1
12		80	1,0	6,4	8,2	12	0,68	30	0,5	0	0,28	20
13	Гексоген	50	3,0	7,5	1,75	0,01	175	30	10	0	0,02	210
14	ТНТ	50	3,0	7,5	1,75	0,01	175	30	10	0	0,01	316
15	Аммонит 6ЖВ	50	3,0	7,5	1,75	0,01	175	30	10	0	0,01	316

Примечание. Опыты 1–12 относятся к вибропрессованию, а опыты 13–15 — к вибротранспортированию ВМ.

используя предлагаемый способ нахождения коэффициента K_6 и проводя расчет его значений при различных сочетаниях параметров вибрации. До настоящего времени такой возможности подбора оптимальных параметров вибронагружения с учетом коэффициента взрывобезопасности не существовало.

Использование коэффициента K_6 для оценки взрывобезопасности при вибротранспортировании гексогена, ТНТ, аммонита 6ЖВ показало (опыты 13–15 в табл. 2), что при отсутствии больших динамических и статических нагрузок на ВМ и при сравнительно низких частотах и амплитудах колебаний вибротранспортирование может быть взрывобезопасным. Но в этом случае необходимо учитывать возможность электризации частиц ВМ и их пыления при периодическом отрыве слоя ВВ от грузонесущего элемента установки. В связи с такими особенностями при определении безопасных условий нужно предусмотреть меры по снятию зарядов статического электричества и обеспечению необходимой влажности воздушной среды.

Таким образом, в работе предложен новый способ расчета коэффициента взрывобезопасности переработки ВМ при использовании вибрационной технологии, основанный на сравнении экспериментально найденных критических параметров вибрационного воздействия на ВМ с учетом вероятности их взрывов и степени разложения с параметрами разрабатываемого или используемого вибрационного оборудования.

Применение данного способа оценки взрывобезопасности позволяет рассчитать значения K_6 и оптимизировать технологию вибрационной обработки ВМ с учетом их физико-химических, механических свойств и возможности изменения указанных свойств при фазовых переходах из-за повышения температуры в процессе вибровоздействия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев К. К., Беляев А. Ф. Теория ВВ. М.: Наука, 1960.
2. Холево Н. А. Чувствительность ВВ к удару. М.: Машиностроение, 1974.

3. **Афанасьев Г. Т., Боболев В. К.** Инициирование ВВ ударом. М.: Наука, 1968.
4. **Логинов Н. П.** Чувствительность твердых ВВ к вибрации // Физика горения и взрыва. 1995. Т. 31, № 4. С. 97–103.
5. **Логинов Н. П., Муратов С. М., Назаров Н. К.** Возбуждение взрыва и кинетика разложения взрывчатых материалов при вибрационных воздействиях // Физика горения и взрыва. 1976. Т. 12, № 3. С. 410–413.
6. **Логинов Н. П., Муратов С. М., Назаров Н. К.** Медленное разложение ВВ и переход его во взрыв при вибрации // Физика горения и взрыва. 1978. Т. 14, № 5. С. 154–158.
7. **Мержанов А. Г., Дубовицкий Ф. И.** Современное состояние теории теплового взрыва // Успехи химии. 1966. Т. 35, вып. 4. С. 656–682.
8. **Беляев А. Ф., Коротков А. И., Сулимов А. А.** Переход горения гетерогенных систем во взрыв. М.: Наука, 1981.
9. **Бесчанов М. В.** Взрывоопасность и противоаварийная защита химико-технологических процессов. М.: Химия, 1983.
10. **Синицын А. П.** Расчет конструкций на основе теории риска. М.: Стройиздат, 1985.
11. **Гончаревич И. Ф., Фролов К. В.** Теория вибрационной техники и технологии. М.: Машиностроение, 1981.
12. **Дубнов Л. В., Бахаревич Н. С., Романов А. И.** Промышленные взрывчатые вещества. М.: Недра, 1988.
13. **Логинов Н. П.** О структурных и физико-химических изменениях гексогена при вибрационной обработке // Физика горения и взрыва. 1997. Т. 33, № 5. С. 103–110.
14. **Логинов Н. П., Муратов С. М., Елифанов В. Б.** Особенности химического разложения 2,4,6-тринитротолуола при вибрации // Физика горения и взрыва. 1984. Т. 20, № 6. С. 97–100.

*Поступила в редакцию 4/VI 1999 г.,
в окончательном варианте — 1/XII 1999 г.*