

64013.0012

П 16

ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ РККА ИМ. Т. ДЗЕРЖИНСКОГО

А. И. ПАНГКСЕН

**РАСЧЕТ
БЕТОННЫХ ЗАЩИТНЫХ
ПОСТРОЕК**

ИЗДАНИЕ

Военно-технической академии РККА имени тов. Дзержинского

ЛЕНИНГРАД

1937

692
А-163

III

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА БССР

ГЛАВА У.

Расчет осколочного действия снарядов
в аэробомб 257-271

Краткие сведения об осколочном дей-
ствии снарядов. Вес осколков и посту-
пательная скорость их. Расчет пробив-
ной способности осколков. Опытные ре-
зультаты действия осколков по бетон-
ным постройкам. Примеры расчета.

З а к л ю ч е н и е 272

П р и л о ж е н и я:

1. Таблица данных о фугасных аэробомбах
2. Коэффициенты податливости среды прониканию K_n и взрыву $K_{вз}$.
3. Коэффициенты K и F_m в формуле Noble.
4. Таблица значений величин B и γ' для формулы Забудского.
5. Коэффициенты податливости среды отколу K_o .
6. Таблица весов различных грунтов и значения вели-
чины P .
7. Коэффициенты податливости среды разрушению K_r .
8. Таблица весов осколков.

П е р е с е н ь и с т о ч н и к о в 285-287

15735

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА БССР

08

449 89

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА БССР

Предисловие.

Огромное развитие цементной промышленности гарантирует широкое применение бетонных и железобетонных защитных конструкций. Оснащение армии техническими средствами вызывает появление защитных сооружений специального назначения, требующих отказа от установленных стандартных форм, что создаст целый ряд затруднений у проектировщика. Только расчет, особенно основанный на строительной механике, может в этих условиях обеспечить проектировщику целесообразное решение. Учитывая это, нами расчету на основе строительной механики уделено наибольшее внимание, собрав и разобрав в главе III целый ряд предложений и внеся собственный универсальный метод расчета. Главы I и II заключают собранный и критически разобранный материал по расчету местных повреждений от действия снарядов и аэробомб и по определению необходимых защитных толщ. В главах IV и V рассмотрены до сих пор совершенно мало освещенные вопросы о расчете осколочного действия и давления воздушной волны.

Учитывая, что только соответствующие опыты могут дать окончательное разрешение многих из затронутых вопросов, мы стремились по возможности наметить пути для точных (с использованием измерительной аппаратуры) экспериментальных исследований.

В основном нами рассмотрен расчет бетонных (армированных) монолитных построек, но приведенный материал может быть использован и для расчета других сооружений, таковым напр. является предложенный нами универсальный расчет за-

литичеких построєк

В заключєнии большуо признательность приносит автор профессору В. В. Яковлеву и преп. Д. Е. Козловскому за оказанную имє при составлении настоящего труда помощь пре доставлением ценного литературного материала.

А в т о р .

В в е д е н и е .

В настоящее время проектирование защитных бетонных построек основано на обследовании различных эмпирических правил, выведенных на основе предшествующих опытов. На ряду с этим последнее время идут работы по детальному изучению явлений, сопровождавших разрушительное действие снарядов и аэробомб с целью овладеть теоретическим расчетом, могущим дать больший простор проектировщику в выборе типа конструкции, разработке отдельных деталей и т.п. В случае овладения подобным теоретическим расчетом эти два расчета не будут друг друга исключать, а взаимно дополнить, всегда сперва будет требоваться ориентировочное установление всех конструктивных размеров и затем будет идти их уточнение.

Произведенный таким образом расчет защитной постройки гарантирует достаточную безопасность только при условии правильно выбранных исходных данных, поэтому прежде всего и остановимся кратко на этом вопросе.

Если расчетные средства не заданы, что очень часто бывает, то их необходимо установить, учитывая тактическое назначение построения и месторасположения ее (в каком районе, какого характера оборонительный рубеж и т.д.). В условиях войсковых и тыловых работ обычно максимальным расчетным средством поражения будет наибольший калибр артиллерии, могущей быть примененным в условиях маневренной войны в массовом масштабе, т.е. могущий сопровождать войска, что зависит в значительной мере от тяговых средств, таким калибром напр. в мировую войну была 152 мм. гаубица.

Помимо артиллерийских снарядов необходимо учитывать для каждой защитной постройки возможность бомбометания, при чем в расчет вводится аэробомба эквивалентная по разрушительному действию по покрытию расчетному снаряду.

Установив расчетное средство поражения, напр. снаряд 152 мм. полевой тяжелой гаубицы или аэробомбу в 50 кгр., необходимо к нему подобрать все необходимые отправные данные, от коих зависит разрушительное действие, а именно вес снаряда или аэробомбы - P , вес заряда $B.B.$ - C , диаметр снаряда или аэробомбы - d , длина - D , окончателная скорость снаряда или аэробомбы в момент встречи с защитной средой - V и угол падения - β , это угол образуемый касательной к траектории снаряда (аэробомбы) в месте удара с горизонтальной плоскостью.

Наиболее подробные данные можно извлечь из таблиц стрельбы, при этом выбор величин V и β требует некоторого анализа, так как их нужно брать в таком сочета-

нии, чтобы получился максимально возможный эффект разрушительного действия.

Для правильного быстрого выбора этих данных для снарядов можно запомнить, что при стрельбе по горизонтальным целям нужно брать скорость V и угол β для наибольшей дистанции и при полном заряде, при стрельбе по вертикальным целям, тоже следует брать полный заряд, но дистанцию наименьшую из возможных, определяемую тактическими соображениями (возможным приближением артиллерии противника к переднему краю оборонительной полосы, расположением защитной гостройки).

Для аэробомб выбор этих данных несколько упрощается тем, что угол падения приближается к прямому, аэробомба падает близко к вертикали, таким образом остается правильно взять величину окончательной скорости при падении. Эта скорость зависит от высоты метания, веса бомбы и сопротивления воздуха. Для малых аэробомб (до 100 кгр.) при метании с реальных боевых высот вполне возможен случай, когда аэробомба достигает своей предельной возможной скорости (см. приложение I). Эта предельная скорость, при которой сила сопротивления воздуха равна весу аэробомбы, является и расчетной скоростью. Определяется она из следующего выражения

$$V = \sqrt{\frac{P}{K_{\text{аэр}} \omega}}, \text{ где}$$

V — скорость в метр.сек., P — вес аэробомбы в кгр.,

$K_{\text{аэр}}$ — аэродинамический коэффициент порядка 0,03 и

ω — площадь поперечного сечения в кв. метрах

Для средних и мощных аэробомб предельная скорость с реальных боевых высот метания не достижима (напр., предельная скорость для аэробомбы калибром в 2 тонны, равная 900 метр/сек. достигается при метании с 40 километров), а поэтому расчет ведется по иной формуле, дающей величину

скорости в зависимости от высоты метания, а именно

$$V = \sqrt{20 \cdot H} - \frac{H}{100} \quad \text{где } H - \text{высота метания}$$

в метрах.

ПРИМЕР: 1) Определить конечную расчетную скорость для аэробомбы калибром в 100 кгр.

Для данной аэробомбы можно использовать еще выражение для предельной скорости, а именно

$$V = \sqrt{\frac{P}{K_{\text{АЭР}} \omega}}$$

Данные аэробомбы следующие: P - вес ее = 100 кгр.
диаметр $d = 220$ мм., длина $D = 1300$ мм. $K_{\text{АЭР}} = 0,03$

откуда $V = \sqrt{\frac{100 \cdot 4}{0,03 \cdot 3,14 \cdot 0,32}} = 297$ метр/сек.

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4}$$

2) Определить конечную скорость аэробомбы весом в 500 кгр. при высоте боевого метания около 3000 метров.
Данные об аэробомбе: P - вес = 500 кгр., d диаметр = 500 мм., длина $D = 1750$ мм.

Поскольку для мощных аэробомб предельная скорость практически не достижима, требовалась бы крайне большая высота полета, надлежит использовать следующее расчетное выражение

$$V = \sqrt{20 \cdot H} - \frac{H}{100} = \sqrt{20 \cdot 3000} - \frac{3000}{100} = 215 \text{ метр/сек.}$$

Заданное средство разрушения определяет мощность защитной постройки, но коль скоро мощность, сопротивляемость в отношении защитных построек понятие не абсолютное, а относительное, определяемое вероятному числу снарядов (аэробомб), которое необходимо для вывода постройки из строя, то необходимо уточнить сопротивляемость построек.

С этой целью отмечают построики, обеспечивающие от одного попадания заданного средства поражения, от двух попаданий в одну точку и т.д.

Г Л А В А I

РАСЧЕТ МЕСТНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ОТ ДЕЙСТВИЯ ЦЕЛЬНЫХ СНАРЯДОВ И АЭРОБОМБ.

Расчет местных разрушений. Ударное действие снарядов. Проникание. Пробивание. Рикошетирование. Сравнение иностранных расчетных данных и наших. Фугасное действие. Его расчет. Значение забивки при определении величин местного разрушительного действия снарядов. Суммарное действие. Особенности расчета местного действия аэробомб. Влияние конструкции сооружения на величину местного разрушительного действия. Расчет местного действия снаряда без замедления. Примеры расчета.

При попаданиях цельных снарядов или аэробомб в защитную бетонную (армированную) постройку наблюдаются следующие виды разрушительного действия. Непосредственно в месте попадания снаряда образуется воронка от совместного действия удара и взрыва, так называемая внешняя воронка с расходящимися от нее во все стороны по поверхности радиальными трещинами различной мощности. При недостаточной прочности построек с противоположной стороны от места попадания наблюдаются откол, прогиб балок поддерживающего слоя или выпучивание стены, ряд трещин намечающегося откола в зависимости от того в какую часть защитной постройки снаряд попал и затем иногда в значительном удалении от места попадания еще целый ряд трещин, из них много волосных (см. фотографии 1, 2 и 3).

х) Характер трещин зависит в значительной степени от размеров постройки.

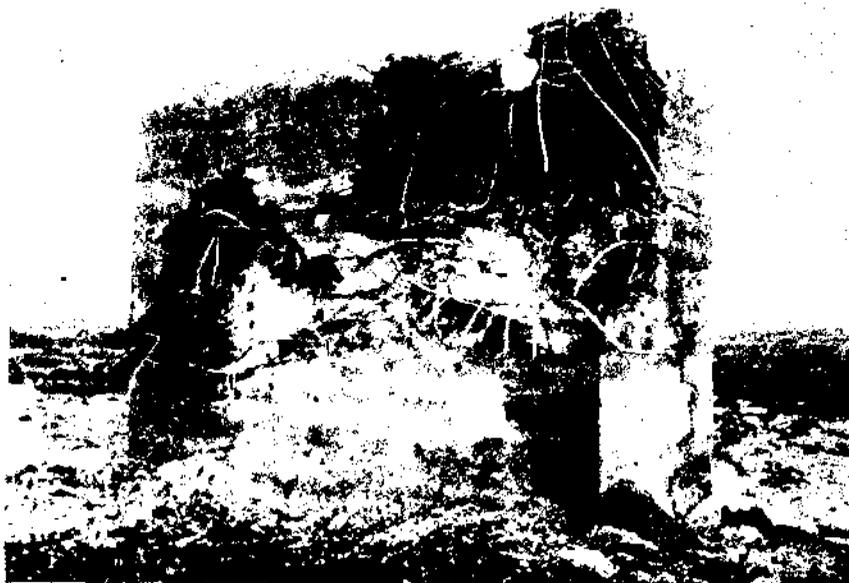
Характер последних трещин в значительной степени зависит от конструктивных особенностей постройки и от места попадания снаряда. Преимущественно в покрытиях наблюдаются радиальные трещины и горизонтальные, параллельные краям сооружения, в стенах - вертикальные, горизонтальные, расщепляющего характера (особенно часто под потолочным покрытием и у фундамента) трещины и диагональные, в фундаментах - вертикальные трещины.

Все эти повреждения являются той или иной стадией разрушения постройки и если не влекут сразу вывода ее из строя, то в значительной мере готовят почву для быстрого разрушения последующими попаданиями, а поэтому нужно их изучать и уметь правильно рассчитывать постройки с тем, чтобы дать конструкции достаточной прочности.

Часть повреждений связана в сильной степени с конструкцией постройки, зависит от нее, но есть повреждения, которые почти исключительно зависят от материала среды, напр. внешняя воронка. Последнее повреждение (внешняя воронка) образующееся непосредственно под местом попадания снаряда или дробомбы, можно, по аналогии с местными напряжениями (рассматриваемыми теорией сопротивления материалов, как напряжения вснакивающие вблизи точек приложения сил), отнести к местным повреждениям (деформациям, разрушениям) и определение размеров их составляет задачу расчета местных разрушений.

Все остальные повреждения удобно связать непосредственно с расчетом прочных размеров построек, тем более что они зависят от конструктивных особенностей.

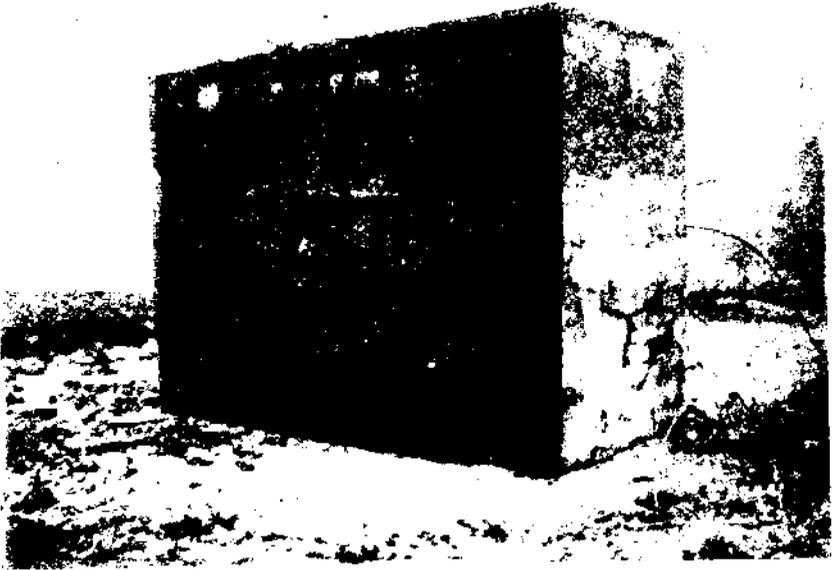
Расчет местных разрушений. Как уже было отмечено внешняя воронка образуется в результате действия удара и взрыва снаряда, поэтому расчет местных разрушений разделяется на расчет ударного действия и фугасного.



Фиг. 1. Воронки от попадания снаряда 152-мм гаубицы в армированную бетонную стенку.



Фиг. 2. Вид дальнейшего разрушения армированной бетонной стенки.



Фиг. 3. Обратный вид той же стенки после первых попаданий.

Ударное действие, выражающееся или в сквозной пробойне или в воронке некоторой глубины в полной мере проявляется в том случае, если имеется бронебойный снаряд или снаряд со взрывателем замедленного действия. В случае сквозной пробойны мерой действия служит толщина пробитого слоя материала, а во втором случае - глубина проникания (глубина воронки).

На образование этих разрушений идет энергия несомая снарядом или аэробомбой,

$$(E = \frac{Pv^2}{2g} \cdot \frac{1}{10^3} \text{ тоннометров, где } P - \text{ вес снаряда в кг.,}$$

v - окончательная скорость в метр/сек. и g - ускорение силы тяжести),

но, конечно, не вся, так как часть ее потратится на явления сопровождающие удар, как то сотрясение, тепло, изменение формы снаряда и т.п.

Несмотря на наличие двух форм ударного действия - проникновения и пробивания, отличающихся качественно друг от друга, у нас имело применение до последнего времени только одна формула для расчета ударного действия по бетону, а именно

$$l = K_n \frac{P}{d^2} v. \quad (I)$$

где l - глубина проникания в метрах, K_n - коэффициент полноты проникания орудия, P - вес снаряда в кг., v - окончательная скорость в метр/сек., d - диаметр снаряда в метрах.

Против распространительного использования этой формулы возразит различный характер ударного действия в зависимости от размеров задатной среды, ее толщи (см. черт. 4). При попадании снаряда в орудие неограниченных размеров \bar{x} в данном случае глубина проникания рассматривается при нормальном попадании в задатную среду.

меров или покоящуюся на оченьном поддерживающем слое (напр. броня, балки), заменяющем собой неограниченные



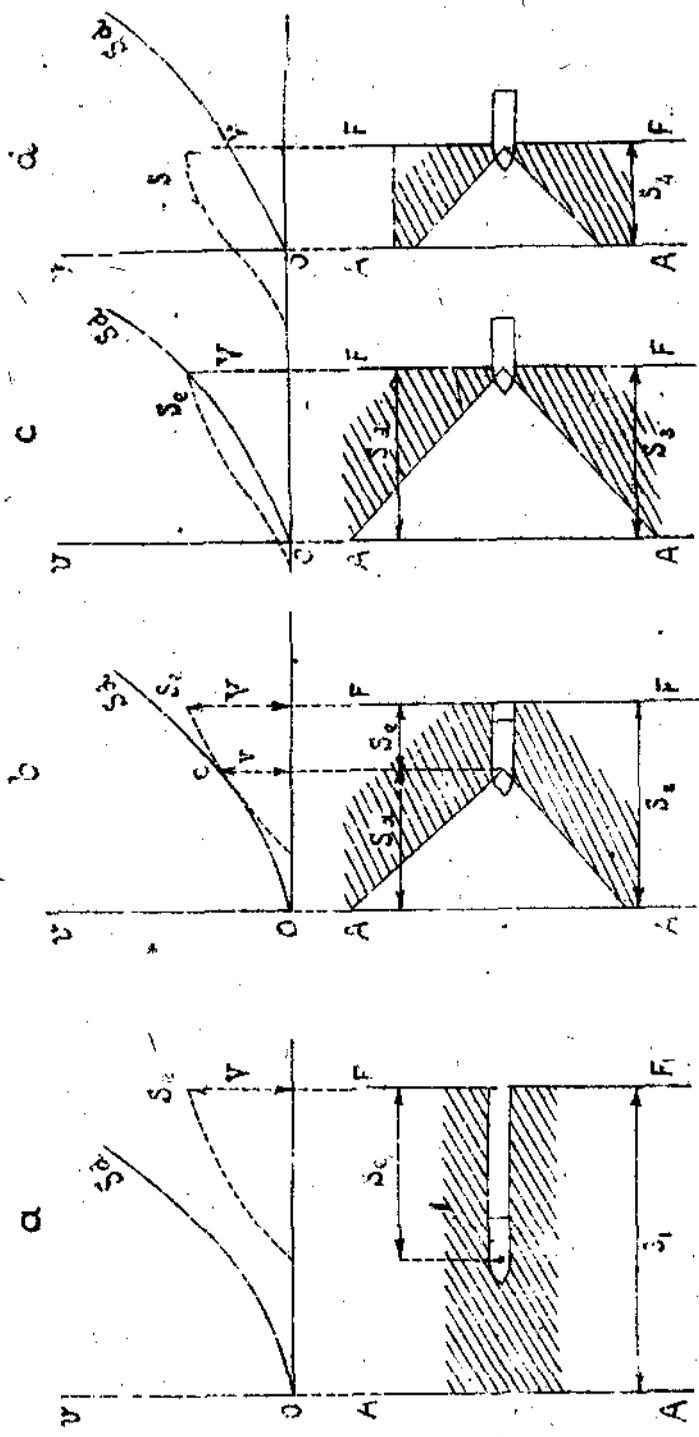
Черт.4.

размеры орудя, податливость орудя зависит от величины сопротивления ее сжатию, что очень наглядно можно видеть на следующей таблице

№№ по пор.	С р е д я	Коэфф. податлив. проникания.	Отно- сит. соот- носе- ние.	Допуск. нагрузка на сжатие кг/см. ²	Относит. соотношение.
1	Бетон...	0,0000013	1	25-30	1
2	Песчаник	0,0000020	1,5	20	0,8
3	Песок	0,0000045	3,5	2,5-10	0,1-0,33
4	Земля плотная	0,0000065	5	5	0,2-0,165
5	Глина ...	0,0000070	5,4	4	0,13
6	Земля свеженасып...	0,0000130	10	2-2,5	0,08

Заметно, что коэффициенты податливости растут прямо пропорционально падению сопротивляемости среды сжатию.

Податливость удару снарядов среды ограниченных силу размеров в оченьной степени зависит от сопротивляемости среды растяжению и изгибу, т.к. попавший снаряд будет стремиться оторвать кусок среды стоящий ему на пути (см. черт.4).



Черт. 6.

- a) Скорость за время движения сначала не достигает величин, нужной для пробития сопрягающихся слоев шпоров протекания.
- b) Скорость в точке с достигла необходимого для пробития предел.
- c) Частое пробивание, без предварительного протекания.
- d) Пробивание со значительным избытком энергии.

45733

№ 6

Давыдов А И
 РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
 НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
 БИБЛИОТЕКА БССР

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
 НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
 БИБЛИОТЕКА БССР

2.2 И.

$$S = \frac{P_s}{\lambda} K F_m \quad \text{в которой} \quad (2)$$

S - глубина проникания в см.

P_s - поперечная нагрузка в кгр/см.² $P_s = \frac{P}{\pi d^2}$

P - вес снаряда в кгр.

d - диаметр снаряда в см.

λ - коэффициент, зависящий от формы снаряда.

K - коэффициент, зависящий от характера среды.

F_m - коэффициент, зависящий от скорости в момент удара.

По своей структуре эта формула вполне подобна общепринятой у нас формуле [1], отличие только в оценке значения скорости (в I формуле она введена в I степени, а в формуле *Nobile* в переменной степени). Обе эти формулы эмпирические, мы здесь попутно считаем целесообразным коснуться метода построения этих формул.

Сперва анализируются факторы, влияющие на эффект действия, затем пишется формула в общем виде с буквенными коэффициентами. Коэффициенты определяются опытным путем методом исключения некоторых переменных, например в формуле "*Nobile*", имевшей 3 коэффициента λ , K и F_m можно для определенной среды и снаряда взять равным 1 λ и K и стреляя при различных скоростях определить значения F_m из средних измеренных глубин проникновения. Затем стреляя снарядами различных форм в ту же среду можно определить значения λ и наконец стрельбой одинаковой формы снарядами в различные среды определяются коэффициенты K .

Для расчета пробивного действия *Nobile* дает другую формулу. Поскольку эта формула у нас мало известна, вывод ее производится полностью, как он дан *Nobile* Сопротивление, которое испытывает снаряд при внедрении в среду в равной степени действует, как давление

снаряда на орду, т.е. $w = Q$.

Работа сопротивления равна внешней работе, т.е.

$$W_{\text{с}} = Q_{\text{с}} = \frac{Pv^2}{2g} \quad |a|$$

При пробивании вытесняемая часть среды, при выходном отверстии, имеет форму конуса (см. черт. 6). Отрыв среды следует по выпуклой поверхности этого конуса. Какую бы закономерную форму не имела бы поверхность разрыва, она всегда будет выражаться через квадрат толщины пробитого слоя, что можно выразить следующим буквенным выражением AS^2 .

Необходимое усилие для отрыва упомянутого конуса может быть выражено через AS^2B , если через B обозначить разрывную нагрузку.

Давлением снаряда среда сжимается до тех пор пока не произойдет отрыв, это сжатие пропорционально толщине слоя S и ее можно изобразить через bS . Тогда работа пробивания будет равна $ABS^2 \cdot bS$ и выражение $|a|$ примет вид

$$ABbs^3 = \frac{Pv^2}{g^2} \quad \text{или}$$

$$S^3 = \frac{1}{ABb} \cdot \frac{Pv^2}{g^2}$$

и об'единяя постоянные получим окончательный вид

$$S_a^3 = kPv^2 \quad |3|$$

Здесь

S_a - пробиваемая толщина в см.

k - коэффициент, зависящий от среды (для бетона $k = 0,2$).

v - скорость в момент удара в метр/сек.

P - вес снаряда в кг.

Это и есть формула пробивного действия.

Она не содержит в себе калибра снаряда, так как проникание при пробитии доказывается и требуемая работа мо-

жет быть произведена как маленьким, так и большим снаря-дом.

Вес подобных снарядов есть γD^3 . Подставив это выра-жение вместо P в формуле [4], мы получим

$$S_a^3 = K \gamma D^3 v^2.$$

Это значит, что для одинаковой окончательной скорости и при подобных снарядах пробивное действие прямо пропорцио-нально калибру.

Коэффициент K определяется опытными стрельбами.

Формулы пробивания и проникания в защитные среды ис-черпывают ударное действие.

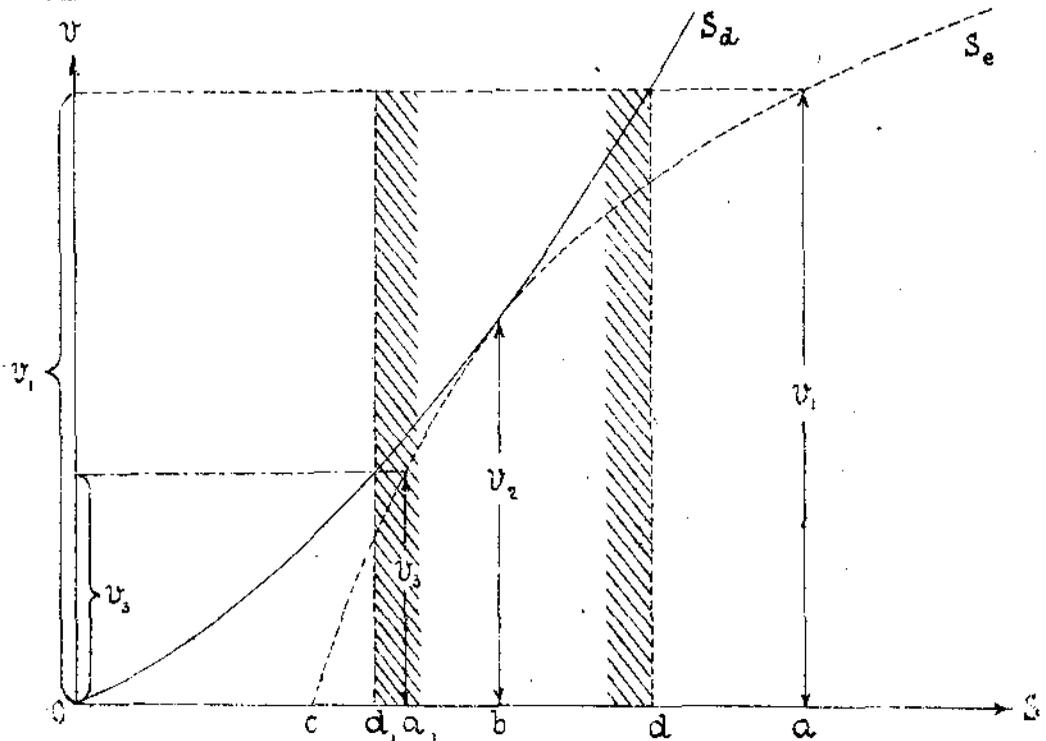
Выявить какой ударный эффект будет при данных обстоя-тельствах, будет ли чистое проникновение или одно проба-вание или явление проходящее, когда ударное действие получается, как последствие проникания и пробивания,

легче всего графически следующим образом: 1) на черт.6, кривая S_a дает связь, при определенном снаря-де и материале среды, между скоростью в момент удара и глубиной проникновения.

2) На том же черт.6 кривые S_a характеризуют при тех же условиях связь между скоростью и пробиваемой тол-щей.

3) На черт.7 показаны кривые S_p и S_a соприкасающи-мися, в таком виде эта диаграмма позволяет для опреде-ленного снаряда и среды получать ответы о возможном ха-рактере ударного действия. Так при скорости V_1 , будет получаться пробивание при толщине среды не более Od , проникновение на глубину ac при толщинах среды больше Oa и проникновение совместно с пробиванием при толщине Oa , при которой снаряд сперва проникает на глубину ab , при чем его скорость понизится до V_2 достаточ-ной для пробития оставшейся толщи Ob . При скорости V_3 будет пробивание при толщинах среды не более Od_1 , про-никание на глубину ac при толщинах равных Od_1 и

более.

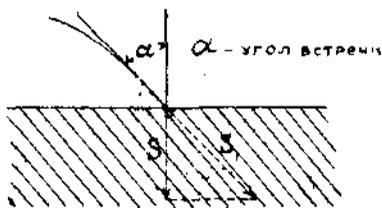


Черт. 7.

Вместо кривой S_e можно поместить кривую λ , метод рассуждения будет тот же.

Коэффициенты для этих формул, выведенные из опытов приведены в приложениях 2 и 3.

Как видно из приведенных расчетных формул ударное действие зависит от окончательной энергии снаряда в момент удара (в формулы входят P вес и v скорость) от конструкции снаряда (форма его головной части, материал), но кроме этого существенную роль играет угол встречи ^{x)} снаряда со средой (черт. 8). В зависимости от



Черт. 8

угла встречи ударный эффект может значительно уменьшиться или вовсе отпасть, если снаряд отскочит, т.е. будет

x) угол встречи - угол между нормалью к преграде и касательной к траектории снаряда в точке попадания.

явление рикошета. Благодаря особенностям полета - вращению снаряда вокруг своей оси и отклонению на дальних расстояниях этой оси от основной траектории, формы головной части, окончателальной скорости и поверхностного сопротивления среды, при встрече снаряда со средой, - возможны различные комбинации.

Нас интересуют явления, зависящие от угла встречи, о точки зрения умения правильно оценить ударный эффект, затем с точки зрения учета возможности создания рикошетных поверхностей и, наконец, выяснения возможного положения снаряда в конце ударного действия (положение перед взрывом).

Нас будет интересовать поведение снаряда в различных средах, поскольку бетонная защитная постройка всегда будет окружена какой либо средой.

При нормальных попаданиях в защитные среды наблюдается правильное движение снаряда в среде, но такие попадания будут весьма редки (невозможны для крупных калибров).

При косвенном же попадании явление достаточно сложно и далеко не закономерно, не определено. Могут быть случаи, что снаряд совершенно не внедрится в среду, что особенно вероятно в тех случаях, когда угол падения менее $1/2$ острого угла образующей головной части, но в случае мягкой среды или способной загигаться, возможно и в этом случае внедрение. Поэтому дать точных границ нельзя и приводимая таблица имеет достаточно широкие пределы.

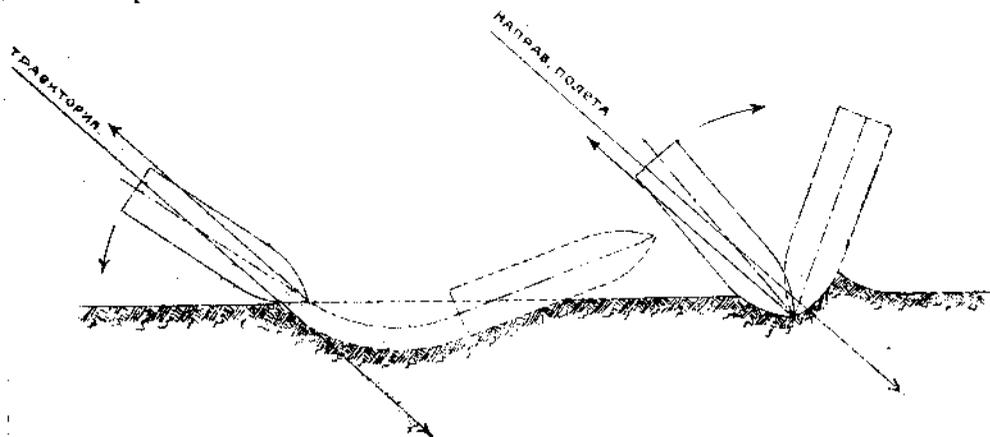
Углы встречи с разными преградми, при которых возможно рикошетирование снарядов.

Спокойная водная поверхность	- 84-80°
Рыхлая или мягкая почва	80°
Твердый растит. грунт	78°
Каменные стены в зависимости от прочности (бетон)	- 60-40°

В случае расположения мягкой среды слоем незначительной толщины на твердой среде (например, земля на бетоне), как показывают опыты, возможно рикошетирование снарядов о твердую среду.

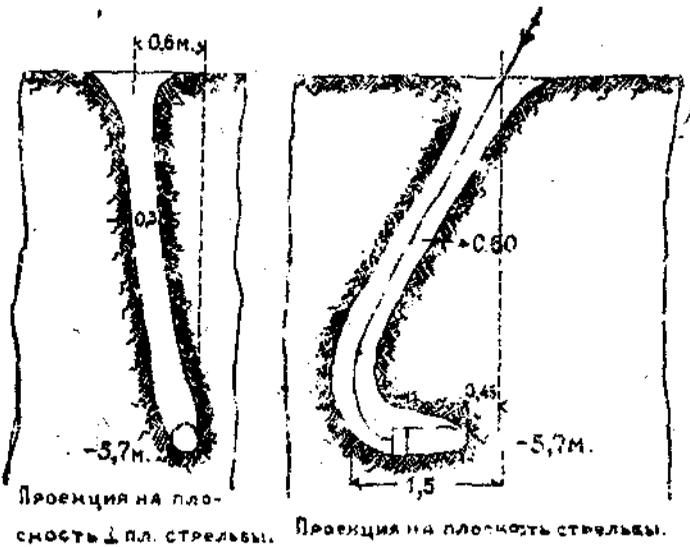
При внедрении движение снаряда весьма неправильно. Основное влияние оказывает вращение снаряда вокруг оси и некоторое его качание, что на дальних расстояниях ставит все время ось снаряда под разными углами по отношению к траектории.

Помаядая в среду, в зависимости от того в каком положении была ось получится та или иная картина внедрения (см. черт. 9)

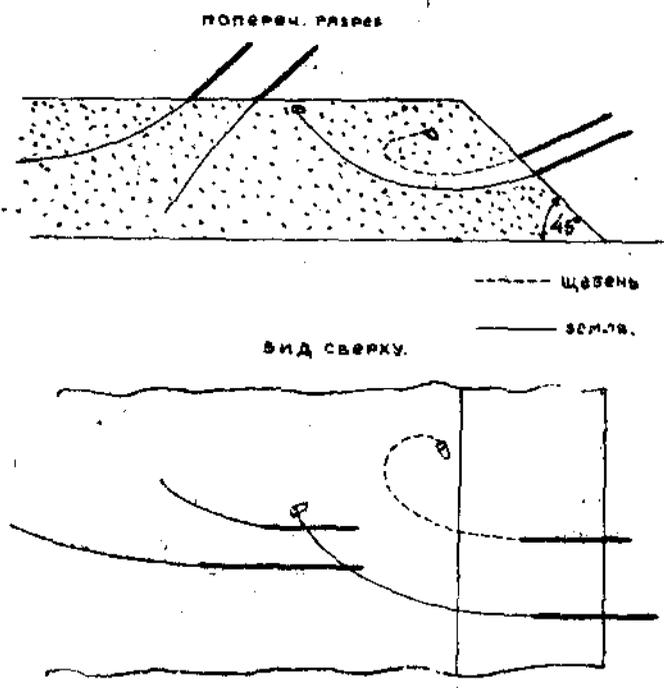


Черт. 9.

Если удар произойдет снизу, то донная часть снаряда будет опускаться и снаряд будет внедряться идти слева вверх, если удар происходит сверху (относительно основной траектории), то снаряд будет стремиться опрокинуться и внедряться пойдет справа вниз. Это происходит, благодаря образованию пары сил, ввиду не совпадения оси снаряда с направлением движения. Целый ряд опытных наблюдений показал иногда удивительные изменения направления канала пути движения снаряда (см. черт. 10 и 11). Все эти обстоятельства позволяют



Черт. 10.



Черт. 11.

сделать вывод, что в результате проникания снаряд может занять самое неожиданное положение, поэтому ни одно из возможных положений не может быть исключено.

Приведенные выше формулы давали разрушительное действие при нормальных попаданиях.

Определение ударного действия в случае косвенных попаданий, учитывая, что нас интересуют действия в направлении нормали к поражаемой поверхности, может быть произведено введением \cos угла встречи (см. черт. 8) в расчетную формулу. В тех формулах, в которых скорость входит не в первой степени (а от величины скорости существенно при прочих постоянных зависит внедрение), есть предположения вводить в расчетную формулу вместо окончательной скорости ее нормальную составляющую $v \sin \beta$ в зависимости от угла падения β , но поскольку у нас введено понятие угла встречи, то берем $v \cos \alpha$, это и подставляем в формулы *Nobile* для проникания и определения пробиваемости; в последнем случае это единственно возможный прием определения пробиваемой толщи при косвенном ударе, т.к. пробивание исключительно зависит от энергии удара. Здесь необходимо отметить, что во всех изученных нами заграничных источниках пользуются при определении действия в случае косвенных попаданий углом падения, вводя $\sin \beta$ в той или иной форме в расчетную формулу, только у нас пользуются углом встречи.

Преимущество здесь можно отметить только одно. С понятием угла падения у нас связано нечто вполне определенное, постоянное при данных условиях, величину чего можно получить из таблиц стрельбы. Вводя совершенно новое понятие по необходимости нужно каждый раз проанализировать ее величину, что исключает возможность грубых ошибок.

Переходя теперь к количественной стороне дела, приведем сравнение целого ряда имеющихся формул, как

уже упомянутых, так и еще следующих: формул Забудского и Пароди. Правда, последние формулы совершенно подобны, как это не трудно видеть из следующего.

Действительно проф. Забудским приведена следующая формула для расчета глубины проникания в различные среды

$$S = C \gamma' B, \quad \text{где}$$

$$S \text{ - углубление в метрах, } C = \frac{P}{(2R)^2} \cdot \frac{1}{1000}$$

P - вес снаряда в кгр.

R - радиус снаряда в метрах

γ' - коэффициент, зависящий в основном от среды

$$B = \log \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{v}{100} \right)^2 \right\}, \quad v \text{ - оцелтательная скорость м/с.}$$

Значения коэффициентов γ' и B даны в приложении №4.

Формула Пароди для той же цели имеет следующий вид

$$S = m \frac{P}{R^2} \lg \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{v}{100} \right)^2 \right\},$$

где m - коэффициент, для бетона $m = 0,08$.

Остальные обозначения прежние.

Сравнивая их, мы видим полную аналогию: во второй формуле вместо $\frac{1}{1000} \cdot \frac{1}{4} \gamma'$ поставлен коэффициент m .

Таким образом сравнительный анализ необходимо сделать только для трех формул глубины проникания:

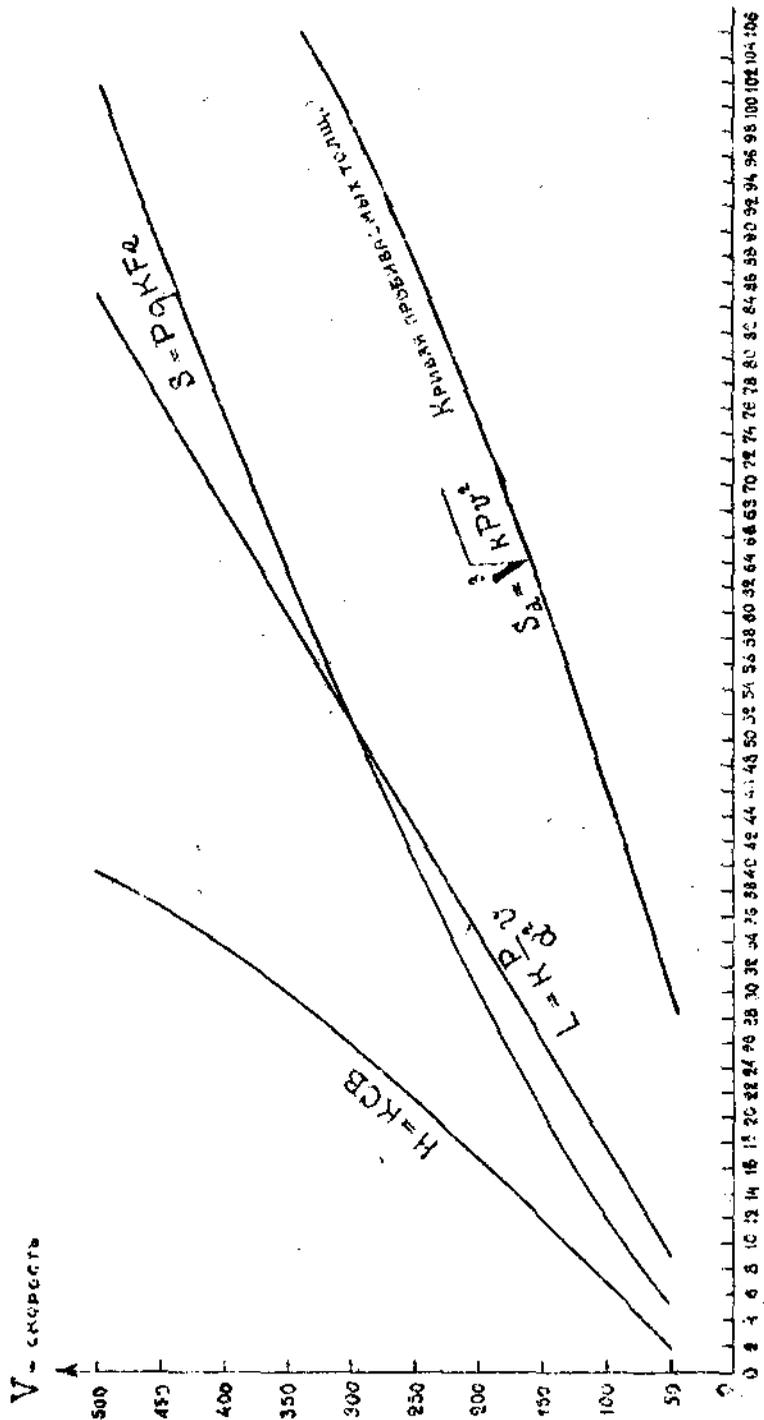
$$1) L = k_n \frac{P}{d^2} v^2 \quad 2) S = \frac{P}{\lambda} k F_m \quad \text{и } 3) S = C \gamma' B$$

(см. диаграммы - черт. 12 и 13). При сравнении этих формул нужно иметь в виду, что коэффициенты в третьей формуле выведены теоретически.

Формулы 1 и 2 отличаются, главным образом, законом изменения глубины проникания в зависимости от скорости (в первом случае это прямая линия, во втором - параболическая кривая), благодаря чему первая формула дает

ГЛУБИНА ПРОНИКНОВЕНИЯ ПО НОРМАЛИ В БЕТОНЕ 0° СНАЗАДА

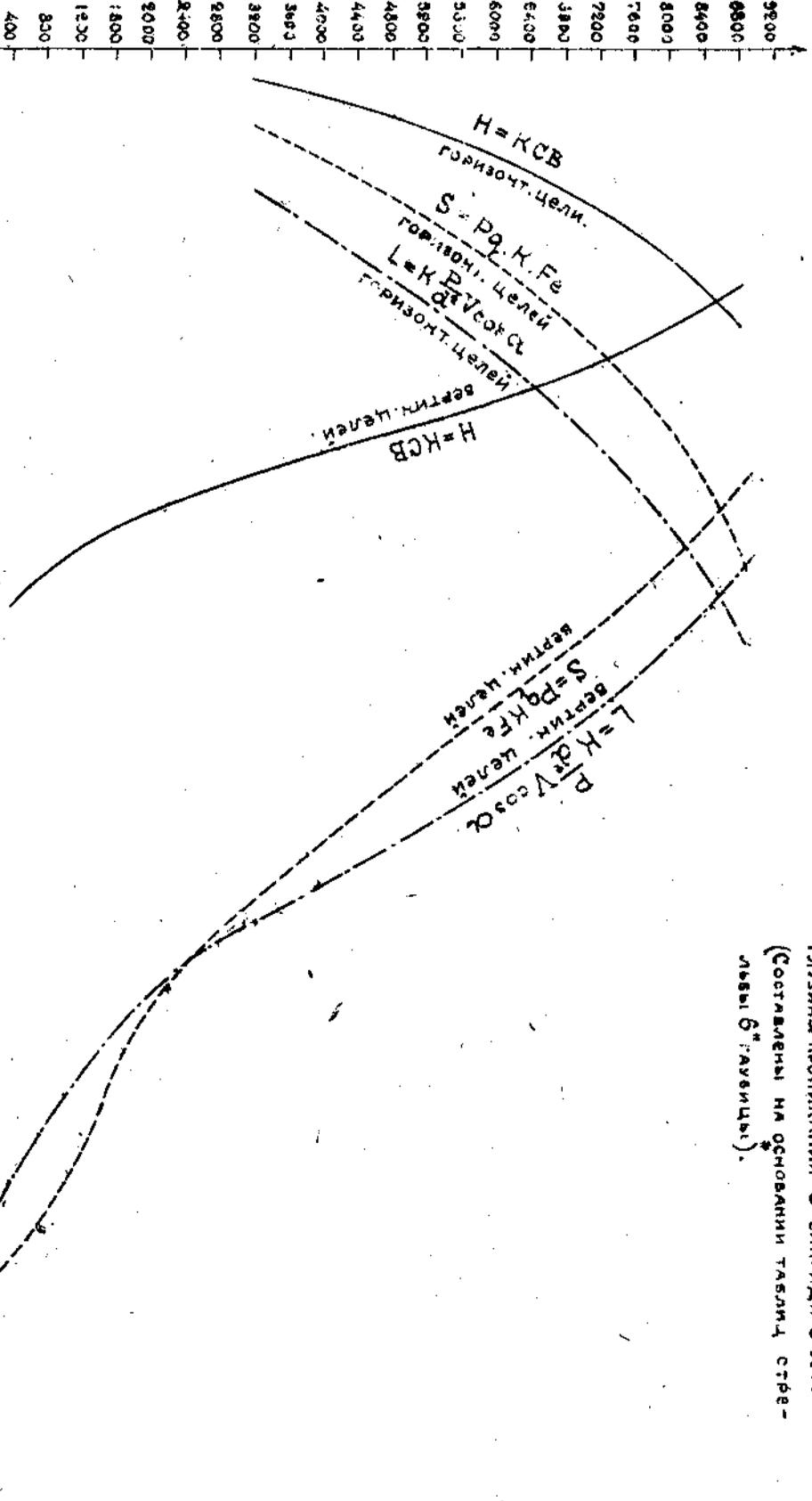
ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СКОРОСТЯХ.



ГЛУБИНА ПРОНИКН. ССМ.

Черт. 12.

Глубина



Гузины проникания 6" снаряда в ствол.
 (Составлены на основании таблиц стрельбы 6" гаусицы).

Черт. 12 и 13 составлены слуш. инж. Фан.
 Под редакцией инженера НИР.

Черт. 13.

Гузина

0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44 46 48 50 52 54 56 58 60 62 64 66 68 70 72

несколько меньшие величинами для больших скоростей и большие для малых скоростей в сравнении с формулой [2].

Для практического пользования нам представляет ся наиболее пригодной формула *Nobile* $S = \frac{P_s}{\lambda} k F_m$, но так как коэффициенты сред, особенно бетонных для этой формулы, имеются в незначительном числе, то имеется необходимость в настоящее время пользоваться обще принятой у нас формулой $l = k_n \frac{P}{d^2} v$, нуждающейся по видимому в соответствующей поправке на скорость. Величина этой поправки может быть дана только после систематически поставленных опытов.

Совместно с кривыми, характеризующими проникание, нанесена и кривая пробивания, чтобы показать количественную разницу расчета по этим формулам [см. чер. 12].

Все время идут работы по улучшению бетонной смеси путем подбора составных частей, путем применения высокоортных цементов и т.д., поэтому может явиться потребность дать суждение о сопротивляемости удару этих новых сред.

В этом случае можно поступить следующим образом: уже отмечалось, что коэффициент податливости в значительной степени зависит от сопротивляемости среды сжатию, даже очевидно определенное пропорциональное отношение, таким образом, зная временное сопротивление или допускаемую нагрузку на сжатие, можно определить новый коэффициент по формуле

$$K_n = K'_n \frac{\sigma'_b}{\sigma_b} \quad \text{где}$$

K_n и σ_b - соответственно новый коэффициент и новое временное напряжение, а K'_n и σ'_b тоже для старой среды.

Разрушительное действие, производимое взрывом заряда В.В., заключенного в снаряде или взрывомбоме называется фугасным действием.

В деле разрушения защитных построек фугасное действие является доминирующим фактором, достаточно вспомнить возбуждение царившее в военно-инженерной среде в связи с появлением бомб-торпед, несущих заряд из бризантного В.В.

Помимо общего разрушения фугасное действие дает и местное действие, выражающееся во взрывной воронке. Мерилом этого действия принимается глубина воронки. Поверхностные очертания воронки близки к кругу со равными краями, диаметром в 4 - 5 глубин. Объем этой воронки может быть вычислен по формуле $\frac{1}{8}\pi f d^2$, где f - глубина воронки и d ее диаметр.

Имеются расчеты фугасного действия, особенно по различным грунтам и горным породам, рассматривающие это действие, как дополняющее действие удара, а поэтому и расчетные формулы обнимают и действие взрыва и проникание, примером этому могут служить формулы, приводимые проф. Забудским^{x)} и Небиле, при чем первый дает подобную же формулу для расчета действия по бетонным сооружениям. По этим формулам определяется объем выброшенного материала. Поскольку они оба разрушительные действия рассматривают совместно, анализ их формул произведем ниже при определении суммарного действия.

Для правильного изучения явлений местного действия нужно предпочесть раздельный анализ местного действия удара и взрыва.

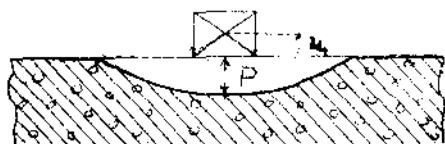
Идя по последнему пути и наблюдая глубины воронок, при взрывах открыто расположенных на дневной поверхности зарядов В.В., выявили, что имеется закон подобия, по которому расстояния от центра заряда до дна воронки пропорциональны для данной среды корню кубическому из веса заряда В.В., т.е. что для определения глубин воронок имеет место формула, предложенная еще проф. Тол.

x) Проф. Забудский. Внешняя баллистика, стр.417.

леном, а именно

$$P = K_{вз} \sqrt[3]{C} - \varphi, \quad (4)$$

[см. черт. 14]



где P - глубина воронки в метр.

C - заряд В.В. в кгр.

$K_{вз}$ - коэффициент, зависящий от среды.

φ - расстояние от центра заряда до поверхности в метрах.

Черт. 14.

Как видно из структуры формулы, глубина воронки зависит сильно от расположения заряда, от положения центра заряда (его величины).

Имеется указание, что эта формула верна только для тех зарядов, у которых длина не больше его трехкратного диаметра, в противном случае их нельзя рассматривать, как концентрированные заряды. Затем, как показал целый ряд опытных наблюдений, эффект взрыва зависит еще в сильной степени от соприкосновения заряда со средой. Эти обстоятельства иногда в значительной степени уменьшают эффект, например, в отчете о произведенных опытах по подрыванию бетонных сводов в Варшавской крепости мы читаем, что взрыв заряда положенного в расчищенную воронку сильнее такого же, положенного в нерасчищенной воронке, приблизительно на 15-20%.

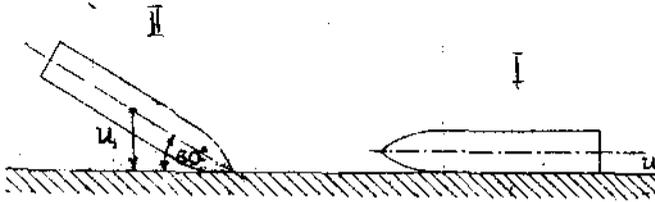
Величина φ зависит от положения снаряда перед взрывом, а вместе с этим от этого же зависят и размеры местного действия.

Возьмем снаряд 152 мм. полевой тяжелой гаубицы, длиной 4,5 калибра с зарядом в 8,8 кгр. и прикинем действие его в двух положениях: лежа, вклямя и под углом в 60° (см. черт. 15).

$$\text{I случай } \Pi = 7,6 \text{ сант.} \quad P = 0,175 \sqrt[3]{8,8-\Pi} = 0,284 \text{ м.}$$

$$\text{II случай } \Pi = \frac{68,4}{2} \sin 60^\circ = 29,6 \text{ сант}$$

$$P = 0,175 \sqrt[3]{8,8-\Pi} = 0,064 \text{ м.}$$



Черт. 15.

Как видим из этого расчета разрушительный эффект уменьшается во II положении в 4-5 раз. Поэтому имеет существенное значение установление положения снаряда для расчета.

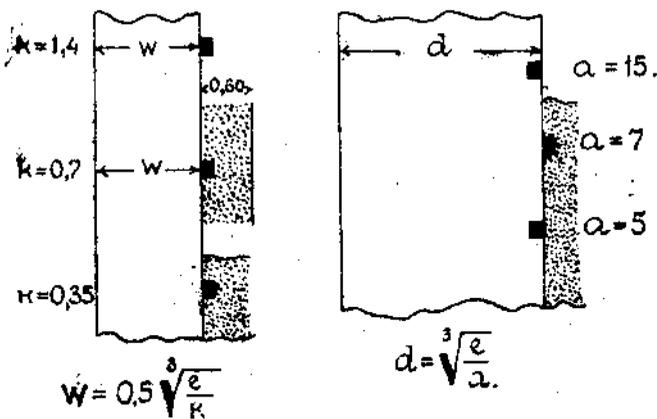
Имеется целый ряд утверждений, что в реальных условиях в бетонных средах никогда невозможно положение снаряда перед взрывом лежа плашмя. Выше уже отмечалось чрезвычайно неустойчивое поведение снаряда при проникании, особенно в мягких средах, поэтому в целях страховки необходимо брать наименее выгодное положение снаряда.

Значение забивки. В зависимости от попадания в различные части защитной постройки могут быть взрывы в положениях открыто расположенных зарядов и при полной забивке. Это заставляет остановиться на вопросе о влиянии забивки на местное разрушение.

В снарядах применяются только детонирующие взрывчатые вещества, для которых вообще говоря забивка большой роли не играет, некоторые количественные данные можно получить на основе подрывного наставления, а именно, что коэффициент, зависящий от забивки, ее качества и места расположения заряда меняется от 4,5 до 1,0, т.е. что

при совершенной полней забивке заряд может быть уменьшен в 4,5 раза против открыто расположенного.

Из приведенных расчетных формул в исследовании Nobile x) можно сделать подобные же выводы. Действительно беря наиболее возможные положения заряда при подрывании обыкновенных каменных стен (см. черт 16), когда



Черт.16.

величина заряда определяется из формулы $w = 0,5 \sqrt[3]{\frac{e}{k}}$, а также тяжело нагруженных, для конк величина заряда определяется из формулы $d = \sqrt[3]{\frac{e}{a}}$ мы видим, что величина заряда при хорошей забивке может быть взята раза в 3-4 менее.

Sprengvorschrift (издание 1918 г.) немецкое наставление по подрывным работам, отмечает тоже что для детонирующих веществ забивка необязательна, но наличие ее может увеличить эффект, при чем в расчетные формулы вводится коэффициент d , зависящий от забивки, имеющий значения от 1 до 4,5.

Таким образом также должна изменяться и величина зарядов, но имеется оговорка, что забивка должна быть совершенная, это с одной сто-

x) Mittheilungen über Gegenstände des Artillerie und Geniewesens. 1914.

роны, а с другой стороны имеется указание, что даже незначительная забивка из мешков, деревянного ящика, дерева может позволить коэффициент 4,5 уменьшиться на 1/4 величины. ^{х)} Кроме того для получения при всех обстоятельствах должного разрушительного эффекта необходимо иметь плотное соприкосновение.

Толлен, предложивший формулу для расчета фугасного местного действия, считает, что полная совершенная забивка действует так, как если бы был положен заряд в 6,5 раз больший по весу.

Все эти выводы относятся к зарядам без оболочек, в то время как в снарядах ВВ заключено в весьма прочную оболочку, представляющую собой достаточно солидную забивку и поглощающую действие другой забивки, в виде обсыпки или земляной толщи. Выявить роль оболочки снаряда можно сравнивая разрушительный эффект: 1) применительно к подрывному наставлению, 2) сравнивая глубину воронок от взрыва снарядов и открыто расположенных зарядов и 3) сравнивая величины опорных реакций при различных взрывах на пятах.

По первому приему имеются следующие данные:

Свод пролетом в 5,7 м. полуциркулярный, 0,8 м. туфа, 0,78 м. забудки и 0,16 м. бетона. Общая толщина свода 1,74 метра. На этом покрытии взорвана бомба (P=154кг, с - 23,8 кгг. экрзита). Покрытие проломлено на пределе, отсюда получим из формулы $d = \sqrt{\frac{c}{a}}$, что $a = 4,5$, тогда как в этом случае $a = 12$, т.е. оболочка значительно усилила эффект разрушения.

По второму приему имеющиеся опытные данные не позволяют в этой части сделать окончательные выводы.

Сравнительные наблюдения над глубинами воронок дали

^{х)} Sprengvorschrift (1918) стр. 103.

возможность вывести следующий эквивалент по действию между 28 сант. (11 дюйм.) бомбой с зарядом в 40 кгр. (100 фунтов) и открыто расположенным зарядом кубической формы, а именно: действие бомбы равно действию заряда пероксида в 40 кгр. (100 фунтов) с забивкой из песка.

По третьему приему находим материал в статье Эббе Буден "действие снарядов по бетону и железобетону" ^х Здесь реакции измерялись специальными приборами-кульдоами, описание коих будет дано ниже. Для сравнения действия взрыва снарядов и подрывных зарядов рассматривались величины реакций, если реакции были одинаковы, то заряды считались эквивалентными.

Применявшиеся для таких взрывов пробные плиты для защиты от разрушения покрывались 4 броневыми листами, каждый толщиной в 8 мм.

Сравнительная таблица величины реакций от взрыва зарядов ВВ, в снаряде и открыто расположенных.

№ по пор.	Калибр снаряда.	Вес заряда в кгр.	Свобод. располож. заряд кгр.	Реакция в кгр.	Примечание.
1.	7 см.	0,48	-	41200	
2.	"	"	-	40100	
3.	"	"	-	40700	
4.	-	-	0,6	35700	
5.	-	-	0,7	35500	
6.	-	-	0,75	38800	
7.	-	-	0,85	43500	
8.	10,5 см.	1,63	-	136400	
9.	-	-	-	139000	
10.	-	-	-	139700	
11.	-	-	2,6	136300	
12.	-	-	2,8	145600	
13.	15 см.	4,235	-	136600	
14.	-	-	-	181000	
15.	-	-	7,0	184000	
16.	21 см.	14,35	-	288600	

Из приведенной таблицы вытекает, что величина реакции увеличивается параллельно росту величины зарядов ВВ, откуда в пробных плитах не происходят большие изменения формы и даже в этом случае, как показали опыты, реакции возрастают по прямым линиям между величинами, измеренными при различных зарядах.

Из почти совпадающих результатов при взрывах равных зарядов вытекает, что примененный метод измерений надежен, даже в том случае, если приходится регистрировать весьма значительные сдвиги точки.

Выводы можно сделать следующие.

При разрыве 7 см. гранаты с зарядом ВВ в 0,48 кг. тротила получалась средняя величина реакции в 407000 кг., при свободно лежащем пероксилиновом заряде та же реакция требует 0,794 кг. ВВ.

Если отбросить то, что свободно лежащий заряд состоит из пероксилина, а заряд снаряда из тротила (соотношение между ними по силе порядка 1 : 1,20), получится соотношение

$$\frac{\alpha_f}{\alpha_p} = \frac{0,794}{0,48} = 1,65$$

Вследствие того, что снаряд имел как бы забивку, то у свободно лежащего заряда это должно было компенсироваться увеличением на 65%.

Разрывное действие 10,5 см. снаряда соответствует действию свободно лежащего пероксилинового заряда в 2,66 кг., таким образом получается соотношение:

$$\frac{\alpha_f}{\alpha_p} = \frac{2,66}{1,63} = 1,63$$

Соответствующее соотношение для 15 см. снаряда выразится

$$\frac{\alpha_f}{\alpha_p} = \frac{6,9}{4,235} = 1,64$$

Таким образом эти опытные взрывы показали, что для получения того же действия как от разрыва снаряда, свободно лежащий подрывной заряд должен быть сделан на 65% более разрывного заряда в снаряде.

Если учесть значение λ единицы в силе ВВ, этот коэффициент несколько понизится, но во всяком случае остается очевидным, что оболочка снаряда играет роль забивки.

Полученная выше связь была проверена непосредственными взрывами зарядов и снарядов на плитах из железобетона, учитывая пробивной эффект. Так для пробивания плиты толщиной 60 см. потребен свободно лежащий заряд в 7 кг., т.е. тот заряд, который отвечает действию 15 см. снаряда. Взрыв же подобного снаряда действительно дает пробивание пробной плиты вышеуказанных размеров.

При взрывах снарядов в боевой обстановке никогда не будет полной, совершенной забивки, а при этом условии, как это оговаривают подрывные наставления, только и возможно некоторое усиление эффекта. Поэтому в тех случаях, когда заведомо невозможна сколько нибудь сносная забивка например при взрывах снарядов на покрытиях, можно совершенно ее не учитывать, в случаях же взрывов глубоко под землей возможно ожидать некоторого увеличения эффекта действия, но и то не в условиях совершенной забивки, так как всегда будет оставаться канал от пройденного снарядом пути. Но это увеличение, как это ни странно, не всегда скажется на увеличении местного действия, на глубине внешней воронки. Опыты показывают, что за определенными пределами при подрывании стен с увеличением заряда наоборот размеры внешней воронки уменьшаются, а увеличивается разрушение с обратной стороны. Это явление было уже замечено давно, см. отчеты по опытам на Ремберт. полигоне. Березанские опыты. В выводах из опытов в 1908-9 годах на Усть-Ижорском полигоне и в Кронштадте мы находим, что по мере увеличения веса заряда об'ем откола на внутрен-

ней поверхности покрытия возрастает значительно больше, чем объем воронок на наружной поверхности покрытия. Поскольку забивка равносильна увеличению веса заряда, то эффект забивки при действии заряда на пределе разрушения стены тоже скажется на уменьшении местного действия. Таким образом можно отметить, что во многих случаях наибольшее местное действие будет при взрыве снаряда на защитной толще. Влияние же забивки скажется на общем разрушении сооружения и к этому вопросу еще раз придется вернуться в дальнейшем.

Поскольку до последнего времени считается весьма спорным вопрос о значении земляной обсыпки, об ее влиянии на разрушительное действие снарядов, то в замечании вопроса о забивке мы приводим опыт, сделанный в г. Николаеве: было взято для взрывов два артиллерийских снаряда от 8 дюйм. мортиры. Снаряды были длиной $3\frac{1}{4}$ калибра и имели толстые стальные стены. Один снаряд положили открыто на бетон, другой положенный тоже на бетон, покрыли слоем земли в 7 фут (2,1 метра). После взрывов оказалось, что первый снаряд лежащий открыто сделал на бетоне воронку 21,5 сант. ($8\frac{1}{2}$ дюйм.) глубиной и 1,35 метра диаметром. Другой снаряд, покрытый землей, сделал в бетоне углубление в 20 сант (8 дюйм) при длине воронки в 1,05 м. ($3\frac{1}{2}$ фута) и ширине 0,68 м. (2 фута 3 дюйма). Этот опыт ясно показывает, что земля в этом случае не играла роли забивки и не усилила разрушительного действия снаряда. Отсюда выявляется и роль земляной обсыпки.

Отметим уже выше, что земляная обсыпка может не препятствовать рикошетированию снарядов при незначительных ее толщинах и выяснив, что она не усиливает разрушительного эффекта, не являясь забивкой, нужно отметить еще ее полезную маскировочную роль. При попадании снарядов в полый бетон получается резкий звук и особый вид пла-

меня, в то время как попадания в землю дают столб земля, вот чтобы эту разницу уменьшить и тем затруднить пристрелку, полезно делать обсыпку. Кроме того взрыв снарядов, попавших в открытый бетон, производит нравственно удручающее впечатление, тогда как взрыв в земле тихий и разлет осколков небольшой. Земляная обсыпка полезна еще тем, что уменьшает поверхностное разрушение, а также засыпанная воронка ослабляет разрушительное действие последующих попаданий.

Заканчивая рассмотрение местного фугасного действия, нужно также, как мы это сделали для расчета ударного действия, коснуться вопроса подбора коэффициентов для бетонов иного состава, новых сред. Дать эти коэффициенты достаточно затруднительно, так как нет определенной зависимости между коэффициентами для различных сред в формуле $\rho + u = K_{\beta} \sqrt[3]{C}$.

Вывод, предложенный военным инженером Залесским для расчета местного фугасного действия заключается в формуле

$$\rho = \frac{n_s}{n'_s} \{ K_{\beta} \sqrt[3]{C} - u \},$$

где n_s - временное сопротивление раздавливанию бетона старого состава,

а n'_s - тоже - нового состава,

нам представляется не отвечающим действительности, так как прямой пропорциональной зависимости между коэффициентами и временным сопротивлением скатию сред нет, что вполне очевидно из следующей таблицы:

х) Война и Техника. 1927 г. №5. Расчет полезных оборонительных железобетонных построек.

№№ по пор.	С р е д ы	Кэф. податливой среды взриву.	Относит. сопротивле-ние.	Допускае-мая наг-рузка на скатер в кг/см ² .	Отно-ситель-ное соот-нош.	Приме-чание.
1	Земля свеко-ласни.	0,60	4	2-2,5 кг)	1	х) Бетон взят за
2.	Земля плот-ная	0,53	3,5	5	3	кг) Для сравне-ния взя-та за
3.	Песок плот-ный	0,45	3	8,5-10	до 4	та за
4.	Камень	0,25	1,67	-	-	I.
5.	Бетон	0,15 ^{к)}	1	25-30	10	

Нам представляется наиболее целесообразным определять относительную сопротивляемость сред путем взрывов малых зарядов на опытных плитах, что не оставит особых затруднений сделать даже в полевых условиях и определенную таблицу опытным путем поправку внести в расчетную формулу.

В большинстве иностранной литературы при расчете фугасного действия не рассматриваются размеры внешней воронки, а ведется расчет на сопротивление того или иного элемента разрушению (пробиванию) взрывом применительно к подрывной технике, т.е. как бы игнорируется местное действие; естественно возникает вопрос стоит ли учитывать и рассчитывать это действие.

Нам представляется что это необходимо.

Местное повреждение - изменяя профиль сечения влияет на его прочность в момент удара, а затем ослабляет сопротивляемость конструкции последующим попаданиям. Объем наружных разрушений интересен и с точки зрения восстановительных работ, которые безусловно должны иметь место.

Суммарное разрушительное действие. Снаряды, содержащие заряд ВВ действуют посредством и удара и взрыва. Важно использовать силу удара так, чтобы внедрить заряд возможно глубже в постройку. Воспламенение должно быть задержано до тех пор, пока снаряд не достигнет полной глубины проникания. Если он взорвется ранее, то дальнейшее проникновение в то же мгновение прервется и эффект действия будет не полный.

Поскольку конструктивно вполне возможно иметь снаряды со взрывателями, имеющими соответствующее замедление, то вполне реальным является вопрос о суммарном действии удара и взрыва, при полном использовании энергии удара.

Остается вопрос об учете действия взрыва. Из суммы максимального ударного и взрывного фугасного действия создается возможное общее максимальное действие, но последнее в действительности никогда не достигается, хотя отдельные наблюдения дают весьма приближающиеся к этому результаты. Мы уже видели, что эффект местного фугасного действия зависит от положения снаряда в момент взрыва, таким образом расчетный суммарный эффект будет зависеть от выбора положения снаряда. В отчете Березанских опытов при расчетах бралось положение снаряда перед взрывом лежа донной частью на дне выбоины от удара с наклонной осью в 45° к горизенту, но опыты показали (см. таблицу I, Березанский отчет), что целый ряд фактически полученных глубин превосходят по своим размерам исчисленные глубины по вышеупомянутому методу.

Проверить фактическое положение снаряда перед взрывом является невозможным. Сомнения в возможности снаряда принять горизонтальное положение и указание, что диаметр воронки от удара около 2-х глубин ^{х)} _{отпадает}, нам лично приходилось наблюдать борозды от ударного действия

х) См. стр. 83. Война и Техника №5 1927 г. ст. Заключительного.

допускающие, вполне возможные снаряда лежат горизонтально. Еще проф. Величко в своем исследовании ^{х)} подчеркивает, что за весьма точными результатами гнаться не стоит. Достаточно точность для фортификационных сооружений есть фут (30 сант.).

Поэтому нам представляется вполне приемлемым уже установленный у нас метод расчета, а именно, что снаряд перед взрывом беретоя в положении лежачи и суммарное действие определится формулой

$$S = l + p, \quad (5)$$

где l - есть проникание снаряда по нормали в преграде и p - глубина воронки от взрыва.

Ранее этого приема, для определения местного действия пользовались об'емом выброшенного материала, причем имелись формулы учитывавшие одновременно и ударное и фугасное действие, т.е. дававшие сразу суммарное действие.

Такой формулой, приведенной проф. Забудским, является $w = 0,014 \lambda S c$, где w - об'ем воронки в куб. метрах, производимой одним разорвавшимся снарядом, S - углубления в метрах, неснаряженным снарядом, c - вес разрывного заряда в килограммах и коэффициент λ , зависящий от качества В.В. (1,0 для обыкновенного пороха, 2 или 2,1 для пироксилина и 2 или 2,2 для мелниита).

Имея об'ем воронки можно приближенно определить глубину воронки, считая, что диаметр d воронки в четыре раза более ее глубины f , а об'ем $w = 1/3 \pi f d^2$.

Нобиле (Nobile) в своей статье при рассмотрении действия снаряда по различным грунтам, также определяет глубину воронки от взрыва совместно с ударным действием, учитывая глубину проникания, но для бетона он к сожалеению отправных данных не дает.

х) Исследование новейших средств осады и обороны сухопутных крепостей.

Для примера вычислим этим методом глубины воронки в бетоне от одного попадания 212 мм. гаубичного снаряда, со следующими данными: Р = 100,5 кгр. заряд С = 22 кгр. скорость в момент встречи $v = 260$ метр/сек. и угол падения 49° . Нормальная составляющая скорости, вводимая в расчет, определяется из выражения $v \cos \alpha = 260 \cdot \cos 41^\circ = 195$ метр/сек. (α - угол встречи = $90^\circ - 49^\circ$).

Проникание S определим по данным Забудского $S = KCB$, где $K = 0,2$ и $B = 0,461$ (по таблице Забудского).

$$C = \frac{P}{1000 d^3} = \frac{100}{1000 \cdot 0,0408} = 2,58, \text{ откуда}$$

$$S = 0,2 \cdot 0,461 \cdot 2,58 = 0,238 \text{ метра}$$

Объем воронки при этом по формуле $w = 0,014 \lambda S c$

$w = 0,014 \cdot 2 \cdot 0,238 \cdot 22 = 0,147$ метра, откуда глубина воронки определится следующим образом:

$$w = \frac{1}{8} \pi f d^3, \text{ но } f = \frac{d}{4} \text{ откуда } w = \frac{1}{8} \pi f 16 f^2$$

$$f = \sqrt[3]{\frac{w}{6,28}} = \sqrt[3]{\frac{0,147}{6,28}} = 0,28 \text{ метра.}$$

По принятому нами методу суммарная глубина воронки для данного примера будет равняться 0,82 метра, действительно:

$$l = K_n \frac{P}{d^2} v \cos \alpha,$$

где $K_n = 0,000001$ и $v \cos \alpha = 195$

$$l = 0,000001 \cdot \frac{100,5}{0,208^2} \cdot 195 \approx 0,50 \text{ метра}$$

$$p = K_{B_s} \sqrt[3]{C} - u, \text{ где } K_{B_s} = 0,15$$

$p = 0,15 \sqrt[3]{22} - 0,101 \approx 0,32$ метра и суммарная глубина $S = l + p = 0,50 + 0,32 = 0,82$ метра

Эта разница (0,82 и 0,28 метра) исключает возмож-

ность применения метода проф. Забудного в расчетах защитных толщ и в то же время показывает трудность эмпирическими формулами достаточно точно охватить местное действие снаряда.

Рассмотрим теперь особенности расчета местного разрушительного действия аэробомб.

Разрушительное действие фугасной аэробомбы, как и снаряда, складывается из: 1) ударного действия и 2) фугасного действия (результаты работы взрыва).

Ударное действие может быть определено по той же формуле

$$l = K_n \frac{P}{d^2} v \cos \alpha$$

дающей величину проникания снарядов по вертикали, где $\cos \alpha$ есть \cos угла встречи, угла между вертикалью в преграде и касательной к траектории снаряда в месте удара. Для аэробомбы угол встречи α нормально равен 0 и формула для определения проникания примет следующий вид

$$l = K_n \frac{P}{d^2} v,$$

где l - метрах, P - вес аэробомбы в кгр., d - диаметр аэробомбы в метрах и v - окончательная скорость в метр/сек., K_n - коэффициент определяемый опытом и зависящий от среды, в которую попадет аэробомба.

В отношении ударного действия аэробомб, до опытной проверки еще, может только возникнуть следующее сомнение: выдержит ли удар корпус аэробомбы, особенно при попадании в такие преграды, как бетон, железобетон, так как стенки ее значительно тоньше, чем у артиллерийских фугасных снарядов (благодаря этому содержание взрывчатого вещества в аэробомбах доходит до 50-70% от общего веса их). Опытные данные, встречаемые в иностранной литературе повидимому не оправдывают этого сомнения, так например аэробомба весом в 60 кгр. углубляется в утрамбованный грунт на 3,5 метра, даже после пробития двух

сводов из бетона в 15 сантим. толщины. х)

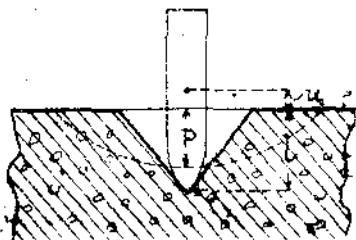
Очевидно, тонкостенный корпус аэробомбы из соответствующего материала является достаточно прочным и позволяет рассчитывать на полный эффект ударного действия. Здесь интересно отметить, что толщина стенок артиллерийских фугасных снарядов определяется только тем условием, чтобы снаряд не разбился при движении в канале орудия и как только давление пороховых газов в канале орудия уменьшается (гаубица вместо пушки), является возможным утолщение стен и доведение содержания взрывчатого вещества до 20-30% от общего веса снаряда.

Переходя к расчету местного фугасного действия отметим, что для расчета глубины воронки, получаемой в этом случае, может найти применение, таже формула Толдена

$$p = K_{23} \sqrt[3]{C - \zeta},$$

где p - глубина воронки в метрах, C - вес заряда взрывчатого вещества в кгр., ζ - расстояние от центра заряда до поверхности защитной толши и K_{23} - коэффициент, определяемый опытом и зависящий от материала защитной толши.

При пользовании этой формулой в различных случаях, например при определении глубины воронки от взрыва заряда в углублении, полученном от ударного действия, возникает вопрос как брать ζ . Если брать ζ равным расстоянию от центра заряда до внешней поверхности защитной толши (см. черт. 17)



Черт. 17.

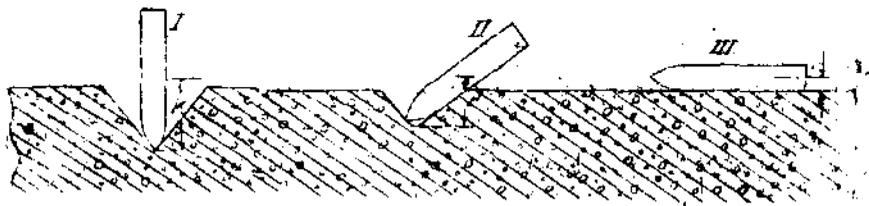
как это приведено в статье Белинского "Убежища от аэробомб" и №209-210 журнала "Война и Техника" за 1925 г. то возникает следующие неудобства

х) Война и Техника №292 293 1926 г. стр. 85

1) приходится для u вводить отрицательное значение, когда центр заряда опускается ниже внешней поверхности, 2) эффект фугасного действия затемняется, по формуле Толлена определяется в этом случае какая то фиктивная глубина воронки (p), отсчитываемая от внешней поверхности, которая наслаивается на глубину воронки (l) от ударного действия и с ней сравнивается и 3) создается представление о переменном значении u , в зависимости от проникания снарядов, а отсюда как бы от той же причины меняется и глубина воронки от взрыва, что опыт не подтверждает.

Все эти обстоятельства затемняют анализ фугасного действия аэробомбы, а потому лучше всегда брать u равным расстоянию от центра заряда до поверхности, на которой он лежит и полученный результат отсчитывать от этой поверхности, суммарный эффект при этом определится сложением глубин обеих воронок ($l+p$) от ударного и фугасного действия, как это уже было приведено при расчете действия снарядов.

Конечные результаты, определяющие суммарное действие удара и взрыва, при обоих приемах определения величины u будут одинаковы, но при втором приеме получается возможность раздельного анализа фугасного действия аэробомбы. Перед моментом взрыва аэробомба, снабженная взрывателем замедленного действия может занять следующие три положения: вертикальное, наклонное и горизонтальное



тажное (черт. 18).

Из этих трех возможных положений аэробомбы нас инте-
ресуют два крайних, которые и рассмотрим.

Определим для этого случая, пользуясь формулой Тол-
лена глубину воронки от фугасного действия аэробомбы ве-
сом в 2000 кгр., имеющей следующие данные: длина 3,6
метра, диаметр 0,6 метра, вес заряда - 800 кгр. (берем
40% от общего веса, но может быть и больше до 60-70%),

$$K_{\text{в}} = 0,175.$$

$$p = 0,175 \sqrt[3]{800} - u = 1,62 - 1,8 = - 0,18$$

$$u = \frac{3,6}{2} = 1,8 \text{ м. (центр заряда берем по середине бомбы).}$$

Получился отрицательный результат, воронки не будет.

Это конечно и можно было ожидать, так как формула
Толлена верна для сосредоточенных зарядов (форма близ-
кая к кубу) и для тех, у которых длина примерно не бо-
лее 3 x диаметров (последнее можно видеть и из диаграм-
мы, приводимой ниже, участок кривой I близкий к прямой
в пределах отношения от 1 до 3).

В нашем случае заряд имеет удлиненную форму с отно-
шением длины к диаметру, равным 4 и кроме того непосред-
ственно не лежит на задатной толще .

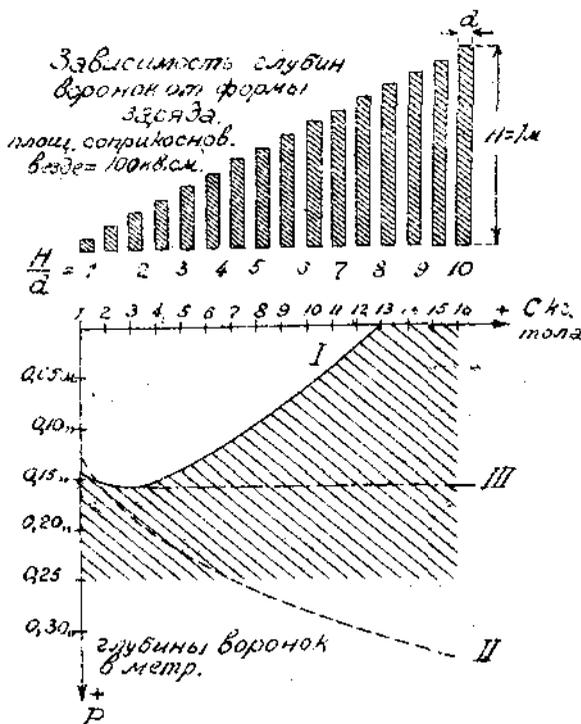
Как изменяется глубина воронок от взрыва, вычислен-
ная по формуле Толлена, в зависимости от отношения вы-
соты к диаметру, показывает черт. 19. Кривая I дает

х) Вес заряда 800 кгр., удельный вес тола 1,6,
объем заряда $0,8 : 1,6 = 0,5$ куб.метра, диаметр
заряда $d = 0,55$ метра, откуда длина его

$$= 0,5 : \frac{3,14 \times 0,55^2}{4} = 2,13 \text{ м. и}$$

$$2,13 : 0,55 \approx 4$$

глубины воронок для различной величины зарядов при постоянной площади соприкосновения, но все увеличивающейся высоте их.^у



Черт. 19.

Кривая II дает глубины воронок для зарядов той же величины, но кубической формы. Мы видим из диаграммы, что заряд в 16 кгр. при отношении $\frac{H}{d} = 10$ по формуле Толена не дает воронки в защитной толще, над этим нужно призадуматься.

В настоящее время явление взрыва удлиненных на высоту

- х) Заряды взяты весом от 1 кгр. до 16 кгр. тола, причем для каждого заряда определялась высота следующим образом, пример: объем заряда тола в 16 кгр = $\frac{16}{1,6 \times 1000}$ куб. метров, площадь соприкосновения = 100 кв. см. = 0,01 кв. метр., откуда высота $H = \frac{16 \times 100}{1,6 \times 1000} = 1$ метр.

зарядов достаточно освещено и если ранее были взгляды, что с увеличением высоты заряда увеличивается и сила удара при взрыве (работа Вахтеля), то теперь опыты и изучение явления взрыва вообще (теория взрывной волны) показали обратное.

С увеличением высоты заряда наступает момент, когда высокие расположенные слои взрывчатого вещества не производят никакого действия на защитную толщу, т.е. дальнейшее увеличение высоты заряда не повлечет за собой увеличение силы удара. Объясняется это тем, что взрыв вообще распространяется равномерно во все стороны концентрическими волнами, при взрыве удлиненных в высоту зарядов, газам стремящимся вниз оказывается противодействие со стороны центрифугального распространения силы взрыва (взгляд Каца, *Steetbacher's*^x). Возможно, что место приложения первоначального импульса (взрыватель) может тоже оказать влияние на силу удара в этих случаях, но это уже вопрос специальные; нам важно было установить, что при взрыве удлиненного в высоту заряда, положенного на защитную толщу, для расчета эффекта взрыва нужно брать только некоторую часть заряда, которая и производит известное разрушение.

Зная эти обстоятельства, можно предположить, что применение таких взробо́в совершенно нецелесообразно (учитывая малый эффект действия вниз) и таким образом применение их мало вероятно.

Такое предположение будет неправильно, так как помимо непосредственного разрушительного действия, имеется действие через среды, например воздух, а именно разрушительное действие взрывной волны, а последняя может получить некоторое направленное действие.

Чтобы достичь оскутности взрыва на большом расстоянии, бесполезно разделить количество взрывчатого вещества

^x Стаття проф. Сухаревского №177 журнала "Война и Техника" за 1925 г. и №292-293 за 26 г. стр. 82 и 83

и расположить отдельные его заряды, напр. по высоте, в случае, если хотят получить симметрию возмущения около центра взрыва, или по длине, если симметрия нежелательна. Заряды могут быть расположены и на некоторой поверхности и тогда при одновременном воспламенении их, получим особенную дальность распространения в вертикальном направлении. ^{х)}

Таким образом выясняется, что пользоваться обычным порядком формулой Толлена для расчета действия аэробомб нельзя, так как она (видно из диаграммы) очень скоро дает полное отсутствие разрушительного действия, что не соответствует действительности.

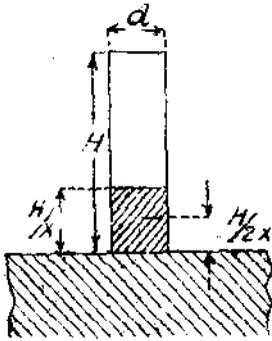
Расчитывать защитные преграды нужно и пока новых методов расчета фугасного действия нет (может быть даже основанных иначе) нужно уметь использовать имеющуюся формулу $\rho = K_{23} \sqrt{C} - \alpha$ тем более, что вполне логичным представляется такая поправка; раз известно, что действует только часть заряда, то надо эту часть и ввести в формулу, как расчетное C . Какую же часть заряда вводить в расчет?

Прежде чем решить этот вопрос интересно отметить, что в иностранной литературе встречаются указания на то, что действие взрыва аэробомб можно расценить на действие как бы нескольких отдельных зарядов: один дает воронку, осколки, другой действует как мина и т.п.

Нас всегда интересует максимально возможный эффект разрушительного действия, а поэтому мы останавливаемся на такой части заряда, которая нам дает по формуле Толлена наибольшую глубину воронки, для этого составляем из формулы уравнение ($f(x)$), берем первую производную, приравняем ее нулю и решаем, это и будет максимум,

х) Эсклангон. Акустика орудий и снарядов 1929 г.

так как кривая I (черт.19) обращена выпуклостью к положительной оси y -ов. Переменную x вводим следующим образом (черт.20): обозначаем высоту искомого заряда через H/x тогда



$$\rho = \frac{H}{2x},$$

$$a \quad \rho = f(x) = K_{вз} \sqrt[3]{1000 \cdot 6 \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{H}{x} - \frac{H}{2x}} \quad (a)$$

Черт.20.

есть объем взрывчатого вещества в куб.метрах, умножаем на δ - удельный вес и на 1000, чтобы перевести в кгр.

Для определения максимума $\rho = f(x)$ берем производную

$$f'(x) = K_{вз} \sqrt[3]{1000 \cdot 6 \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot H} \left(-\frac{1}{3\sqrt{x^4}} \right) + \frac{H}{2x^2} = 0$$

откуда $K_{вз}^3 \cdot 1000 \cdot 6 \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot H \cdot \frac{1}{27x^4} = \frac{H^3}{8x^6}$ и $x = \frac{0,065 \cdot H}{\sqrt[3]{6K_{вз}^3 \cdot d}}$

Определив таким образом какую часть заряда нужно вводить в расчет, подставляем полученное для x выражение в уравнение (a), чтобы определять глубину воронки P

$$P = K_{вз} \sqrt[3]{1000 \cdot 6 \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{\sqrt[3]{6K_{вз}^3 \cdot d}}{0,065} - \frac{\sqrt[3]{6K_{вз}^3 \cdot d}}{2 \cdot 0,065}} \quad \text{откуда}$$

$$P = d \left\{ K_{вз} \sqrt[3]{5006 \pi \frac{\sqrt[3]{6K_{вз}^3}}{2 \cdot 0,065} - \frac{\sqrt[3]{6K_{вз}^3}}{2 \cdot 0,065}} \right\} \quad (б)$$

Мы видим, что при этой подстановке высота заряда H из результата выпадает, т.е. что при данной площади осыпания максимальная возможная глубина воронки P есть величина постоянная.

Это обстоятельство выражено на черт.19 графически кривой II.

В общем виде выражение для Р имеет громоздкий вид, но если подставить известные величины, например вместо δ - удельный вес тела - 1,6, а вместо K_{23} - коэффициент для различных сред, то получим крайне простые формулы для расчета фугасного действия удлиненных в высоту зарядов, а именно:

1) в бетоне $P = 1,42 d$ ($K_{23} = 0,175$)

2) в коронном бетоне $P = 1,12 d$ ($K_{23} = 0,15$)

3) в арм. бетоне $P = 0,98 d$ ($K_{23} = 0,13$)

Таблица

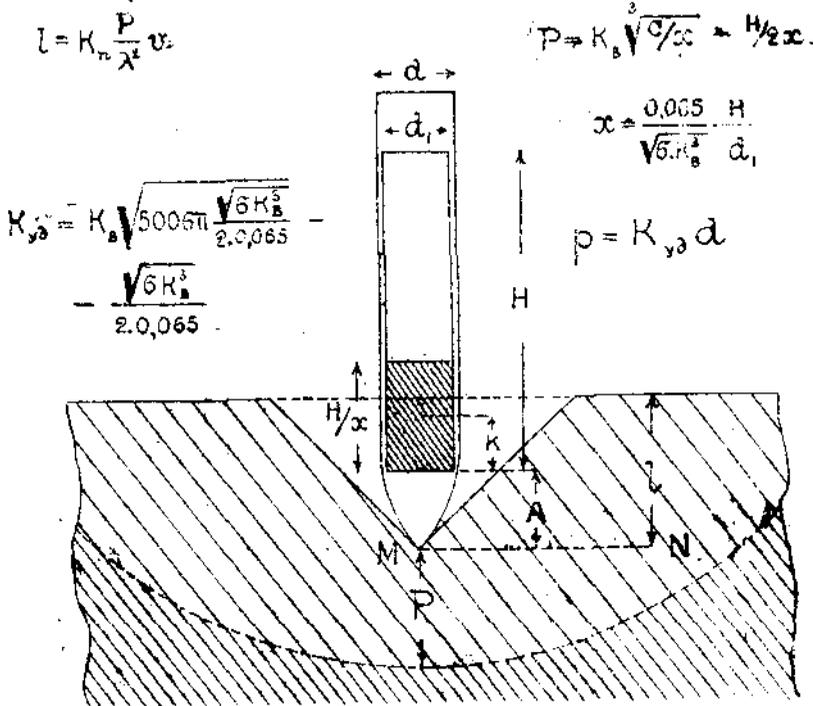
иллюстрирующая влияние формы заряда на глубину воронки.

№ п.п.	Вес заряда в кгр.	Размеры основания в см.	Диам. круга эквив. по площади при мур.	Высота заряда h в см	Глубина факт. воронки в мтр.	Глубина воронки по формуле Толле на $P = K_{23} \sqrt[3]{C \cdot u}$	Глубина по формуле $P = K_{23} d$	Отношение h:d
1	0,82	4x7	6	20	0,10	0,06	0,037	3,34
2	1,00	5x4	6	35	0,04	0	0,055	7
3	1,64	10x5	8	20	0,08	0,077	0,09	2,5
4	2,42	7x7	7,9	30	0,135	0,10	0,126	3,8
5	"	8x10	10	21	0,135	0,15	0,16	2,1
6	4	5x7	6,7	70	0,10	0,075	0,096	10,5
7	"	7x7	7,9	50	0,125	0,02	0,126	6,35
8	1,64	10x10	-	10	0,16	0,156	-	-
9	"	20x5	-	10	0,13	0,156	-	-
10	2,42	10x21	-	8	0,18	0,23	-	-
11	4,00	7x50	-	7	0,21	0,243	-	-

- ПРИМЕЧАНИЕ:**
1. $K_{y3} = 1,6$ пласт. бет.
 2. $K_{y3} = 1,12$
 3. $K_{y3} = 1,12$
 4. $K_{y3} = 1,6$ пласт. бет.
 5. $K_{y3} = 1,6$ пласт. бет.
 6. $K_{y3} = 1,42$ жест. бет.

Эта таблица показывает достаточное соответствие между опытными наблюдениями и расчетной формулой, а также показывает (см. №8-II), что при расчете действия взрыва аэробомбы в положении лежа вполне возможно пользоваться прежней формулой.

При расчете общего разрушительного действия нужно бы (см. черт. 21) учитывать значение величины головной



Черт. 21

части аэробомбы до заряда (А) вычитанием ее из величины фугасного действия , но так как 1) эта величина переменная, зависящая от заполнения взрывчатим веществом (р как мы только что видели, при этом своей величины не меняет) от конструкции и 2) нами не учитывается влияние оболочки на эффект взрыва и возможность усовершенствования заряда (пустотелая форма), то мы ее отбрасываем и общее действие (удар + взрыв) аэробомбы определяем как сумму $l+p$ где $l = K_n \frac{P}{d^2} v$ и $p = K_{y3} d$.

Конечно только опытное совешение всех сомнений и предположений может уточнить расчет разрушительного действия аэробомб.

Расчет суммарного разрушительного действия аэробомб производится при двух предположениях:

1) Для аэробомбы в положении стоя $S = l + p$

2) " аэробомбы лежа $S = p$.

В расчет принимается большая величина.

Для примера произведем расчет действия по бетону (короткому) аэробомбы калибром в 100 кгр.

Данные об аэробомбе:

P - вес ее 100 кгр.

l - длина 1,3 метра.

d - диаметр 0,22 метра.

C - вес заряда ВВ - 50 кгр.

v - конечная скорость - 250 метр/сек

1. Определение глубины воронки от ударного действия

$$l = K_n \frac{P}{d^2} v = 0,000001 \cdot \frac{100}{(0,22)^2} \cdot 250 = 0,52 \text{ метра}$$

2. Определение глубины воронки от взрыва

а) аэробомба стоя -

$$P = K_{\text{э}} d = 1,12 \cdot 0,17 = 0,19 \text{ метра.}$$

$$d \text{ заряда} = d \text{ аэробомбы} = \text{толщина стенок} \approx 0,22 - 0,05 = 0,17$$

б) аэробомба лежа

$$P = K_{\text{э}} \sqrt[3]{C} - \alpha = 0,15 \sqrt[3]{50} - 0,11 = 0,46 \text{ метра.}$$

3. Определение глубины воронки от суммарного действия удара и взрыва.

а) аэробомба стоя:

$$S = l + p = 0,52 + 0,19 = 0,71 \text{ метра.}$$

б) аэробомба лежа:

$$S = p = 0,46$$

В расчет берем 0,71 метра.

Теперь перейдем к рассмотрению вопроса о влиянии особенностей конструкций на местное действие.

Еще проф. Величко дает следующие толщи покрытия при разных пролетах против зарядов от 25 до 33 кгр., а именно

при пролете	толщина покрытия
от 1,8 до 3,0 метра	от 2,1 до 2,4 метра
" 3,0 " 5,4 "	" 3,0 "
" 5,4 " 7,2 "	" 3,6 "

Таким образом как бы подчеркивается значение конструкций.

Правда не было ясности, сказывается ли влияние конструкции на местных разрушениях или только на прочности всего сооружения.

Опыты, произведенные в Швеция показали, что местное действие зависит от конструкции, так например проникание зависит от пролета покрытия.

Энергия снаряда при ударе в плиту поглощается частью

при самом явлении проникания (деформация и теплота), часть сообщаемой плите некоторого движения, т.е. плита старается поддаться от удара с известной скоростью, при этом получается прогиб плиты и в точках энергии силы реакции. Возможно предположить, что проникание должно увеличиваться в той самой мере, в которой плита может прогнуться, а прогибание при той же толщине плиты увеличивается с увеличением величины пролета. Это ясно и из нижеследующего.

Если m - масса снаряда, M - масса бетонной плиты, затем v - окончательная скорость снаряда и V - скорость колебаний поражаемой плиты, то по законам механики (удар неупругих тел) имеем

$$mv + M \cdot 0 = (M+m)V$$

откуда

$$V = \frac{mv}{M+m},$$

т.е. для уменьшения перемещения необходимо, чтобы масса плиты была возможно больше сама по себе и в сравнении с массой снаряда.

Вследствие перемещения бетонной плиты она приобретает живую силу $\frac{MV^2}{2}$, которая должна поглотиться работой плиты на изгиб.

Эта работа $\frac{MV^2}{2}$, если подставить вместо V ее значенке, равна

$$\frac{M \frac{m^2 v^2}{(M+m)^2}}{2} = \frac{mv^2}{2} \cdot \frac{m}{M}$$

Отсюда очевидно, что если больше энергии идет на нагибающее действие, то меньше идет на местное разрушение. На основе опытных шведских материалов х) можно составить следующую таблицу (см. стр. 58 - 59:

х) Tidskrift i fortifikation 1924 г.

Возьмем некоторые числовые примеры.

Вес снаряда $P = 0,8$ кгр.

$$M_1 = \frac{1200}{g}; \quad M_2 = \frac{1930}{g}$$

Возьмем из таблицы выстрелы 18 и 12.

$v = 301$ и 302 метр/сек.

$$A_1 = \frac{0,8 \cdot 302^2}{2 \cdot 9,81} \cdot \frac{0,8}{1200} = 2,47 \text{ кгр метр.}$$

$$A_2 = \frac{0,8 \cdot 301^2}{2 \cdot 9,81} \cdot \frac{0,8}{1930} = 1,53 \text{ кгр метр.}$$

Возьмем еще выстрелы 16 и 18.

$$A_1 = \frac{0,8 \cdot 347^2}{2 \cdot 9,81} \cdot \frac{0,8}{1930} = 2,06 \text{ кгр метр.}$$

$$A_2 = \frac{0,8 \cdot 302^2}{2 \cdot 9,81} \cdot \frac{0,8}{1200} = 2,47 \text{ кгр метр.}$$

Как видим доля, приходящаяся на изгиб, весьма мала, поэтому практически в данных примерах эта величина на результатах сказаться не может.

Очевидно явление удара сложно, оно носит более местный характер, действие не успевает передаваться всему пролету, поэтому все зависит от местной способности покрытия (плиты) прогнуться. Таблица (стр. 58-59), составляющая сводку различных выстрелов, произведенных на опытах в Карлскруме, распределенную согласно различным пролетам испытываемых плит, дает основание предположить, что проникание уменьшается с увеличением ширины пролета и пропорционально этому. Разумеется все это обстоятельство выступает при сравнении между результатами проникания в свободно подвешенные плиты (1 - 8 выстр.) с длиной маятника в 250 см.,

№№ по пер.	Размеры плиты.		Вес плиты в кгр.	Огноча- гольная скорость снаряда v	Фактич. глубина проник- новения. сант.	Глубина конуса проник- новения. см. g
	толщ. в сант.	пролет				
1	-	2,50	-	328	13	-
2	32	"	810	300	13	-
3	32	"	1200	293	12	-
4	38	"	1000	368	14,5	-
5	38	"	1930	357	15	-
6	27	"	450	204	9	-
7	27	"	710	307,8	13	-
8	38	"	690	358	15	-
9	38	152	1930	455,6	21,5	-
10	38	152	1930	152	-	-
11	38	152	1930	203	8,2	-
12	38	152	"	301	12,2	-
13	"	"	"	233	9,7	-
14	"	"	"	348	15,2	-
15				404	24	-
16				347	13,5	-
17	32	128	1200	303	14,2	-
18	32	128	1200	302	13,6	-
19	23	119	560	200	9	-
20	"	"	"	253	11,7	-
21	23	92	430	169	-	7,7
22	"	"	"	204	-	9,0
23	32	86	810	353	-	19
24	"	"		350	-	19,9

Теорети- чес. глуби- на по форм. Nobile в см. l_t	$\frac{l}{l_t}$	$\frac{l_t}{g}$	Примечание.
19,7	0,660	}	0,709
17,5	0,743		
17,05	0,703		
23,8	0,636		
22,0	0,681		
10,5	0,856		
18,2	0,714		
22,1	0,678		
30	0,717		
7	0,886		
10,4	0,788	}	0,767
17,6	0,693		
12,6	0,770		
21,3	0,713		
25,8	0,930		
21,2	0,637		
17,8	0,793	}	0,8
17,7	0,769		
8,15	-	0,945	0,901
10,5	-	0,857	
21,7	-	0,876	
21,5	-	0,926	0,101

Снаряд
всего
0,8 кгг.

считая от точки подвеса до центра тяжести плиты, т.е. в, плиты, у которых ширина пролета приближается к бесконечности и плитам с наименьшим пролетом в 86 см. (23-24 выстр.). В первых случаях фактическое проникание дает в среднем 0,7, в последних 0,9 от теоретически исчисленных данных по формуле Nobile.

Таким образом здесь выявляется следующая величина коэффициента поправки (f) к формуле Nobile в зависимости от размеров пролета

при пролете < 70 см.	$f = 1$
" " 70 < 110 "	$f = 0,91$
" " 110 < 140 "	$f = 0,83$
" " 140 < 180 "	$f = 0,75$
" " 180 <	$f = 0,70$

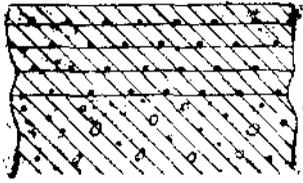
Выведенные коэффициенты имеют более теоретический интерес, чем практический, т.к. всегда могут быть попадания в те части сооружения, которые прогибаться неспособны, а таким образом будет явление полного проникания.

В отношении действия взрыва тоже можно отметить, на основании имеющихся материалов, что конструкция влияет, но благодаря быстроте протекания явлений взрыва здесь еще больше играет роль местная способность плиты покрытия прогибаться, но количественно выводы сделать за малым материалом нельзя, нужно только подчеркнуть, что работа взрыва идет путей наименьшего сопротивления, напр. при сильном покрытии (двойной ряд рельс) внешняя воронка меньших глубин, но зато поверхностное расслоение покрытия (сдвига) значительно сильнее.

Теперь перейдем к вопросу, имеющему гораздо большее практическое значение, а именно к вопросу о влиянии железобетонных конструкций на местное разрушительное действие. Железобетон рассматривать как среду, для которой может быть дан коэффициент податливости проникания или взрыву, трудно, это не материал, это определенная кон-

структуры (бетон - материал со включением того или иного количества арматуры).

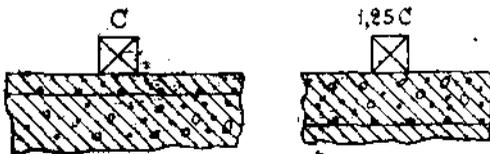
Конструкцию, состоящую из целого ряда сеток армирования, составленных через ровные промежутки (франц. тип - черт.22), можно еще было принимать условно как за какую



Черт.22

то новую среду, но коль скоро мы переходим к осмысленному распределению арматуры в бетоне - эта возможность отпадает.

Ясным примером может служить следующий опыт: пусть имеется плита с одной сеткой армирования, то оказывается, что при одинаковых условиях заряд, положенный на сторону усиленную сеткой армирования, можно на 25% уменьшить по сравнению с положенным на обратную сторону (черт.23) для получения пробивания, а ведь



Черт.23

то и другая железобетонная плита. Поэтому вполне очевидна необходимость установить значение включаемых сеток для местного действия.

Ударное действие не зависит от сеток армирования, железные сетки, заложенные в верхней части покрытия бесполезны против действия фугасных бомб со взрывателями замедленного действия (стр.248 Отчета о Берез. опытах). Это обстоятельство и в последнее время не встречает возражений, но это касается проникания.

Пробивание же зависит от сеток армирования, уже одиночная сетка с противоположной попаданию стороны

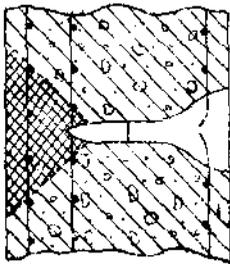
уменьшает пробивную способность в среднем на 20%, что подтверждается опытами.

В отношении глубин воронок от взрыва тоже можно отметить, что на глубине воронок армирование сказывается только в случае расположения сетки в пределах действия взрыва, кроме того оно влияет на уменьшение общего разрушения, а именно - уменьшаются горизонтальные размеры воронки и поверхностные трещины.

Таким образом при расчете местных разрушений в основном нужно правильно учитывать свойства среды бетона (состав его, консистенция и т.п.), что же касается до конструктивных особенностей, то в отношении ударного действия:

1) одиночная сетка армирования не изменяет коэффициента податливости среды прониканию.

2) сетки армирования, расположенные с противоположной попадания снаряда стороны (черт.24), уменьшают пробивную способность его процентов на 20-25. Это же армирование по видимому уменьшает несколько проникание.



Черт.24

В отношении фугасного действия, как бы-до отмечено выше, ар-

мирование уменьшает несколько глубины воронок, но надлежит при выборе коэффициента $K_{эз}$ учитывать расположение сеток армирования. Применение коэфф-тов, предлагаемых некоторыми руководствами для новой "среды" железобетона, должно производиться крайне осторожно:

Рассмотрим еще вопрос расчета местного действия снаряда без замедления.

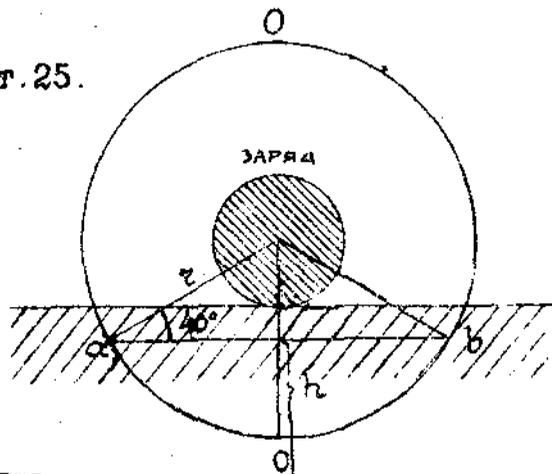
Учитывая возможность рикошетирования снарядов особенно при поражении стен, может явиться необходимость вести обстрел снарядами со взрывателями без замедления,

дающим взрыв мгновенно при встрече снаряда со средой.

Нужно уметь и в этих случаях произвести необходимый расчет, здесь живая сила удара будет вплотную суммироваться с действием взрыва. Учитывая это совместное и по времени действие, расчет может быть произведен следующим образом. Живая сила удара переводится в эквивалентное количество ВВ, используя данные Рихта. Таким образом заряд ВВ как бы возрастает, положение снаряда перед взрывом, поскольку проникание с ее изменением направления исключено, должно быть принято по траектории, т.е. в зависимости от угла встречи.

Здесь попутно затронем вопрос о величине эквивалента между ударом и взрывом, представляющим достаточный интерес, т.к. он позволяет судить о возможных эффектах, предвидеть суммарное действие. Первое указание находим мы в статье Отто Элисона ¹⁾. Результаты опытов показывают, что каждый килограмм экразита разрывного заряда действует по горизонтальным покрытиям почти также, как снаряд, обладающий энергией в момент удара в 15 тоннометр (это опыт, который совпадает с данными Рихта, по которым 1 килограмм динамита дает 75 тоннометр энергии). В обоих случаях это действие достигается при хорошей забивке заряда, у нас в самом снаряде, у Рихта при забивке заряда в пробурованном отверстии. Если эти 75 тоннометр рас-

Черт. 25.



пределить по поверхности шара (черт. 25) и предположить, что ударяющие лучи действительны только до угла встречи в 40° (другие, как слишком отлого падающие недействительны), то сегмент ab шара представит энер-

¹⁾ Тяжелая осадная мортира и ее действие.

Перев. Артиллерийский журнал, 1908 г. №4.

гид разрывного заряда. Поверхность шара O относится к сегменту O_1 , как

$$\frac{O}{O_1} = \frac{4r^2\pi}{2r\pi h} = \frac{2r}{r - r\sin 40^\circ} = \frac{2}{0,36} = 5,5.$$

откуда $\frac{75}{5,5} = 13,6$ тоннометр.

Подтверждение этого эквивалента можно найти и по данным шведских опытов на основе сравнения наблюдаемых реакций, измеряемых специальными приборами. Из опытных данных можно найти, что 0,48 кгр. тротила при взрыве на плите дали реакцию в 40100 кгр., почти такую же реакцию, а именно 42070 кгр. дал снаряд весом в 0,8 кгр., обладавший скоростью в момент встречи с плитой в 452 метр/сек., т.е. имевший живую силу удара в

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{0,8 \cdot 452^2}{2} = 8350 \text{ кгр.метр.}$$

Таким образом можно приравнять живую силу удара в 8350 / вернее 8000, так как $42070 > 40000$ кгр/кгр.метров/действию взрыва заряда в 0,48 кгр. Откуда зная, что 0,48 кгр. производят работу в 8000 кгр.метров, легко определить, что 1 кгр.ВВ может дать работу в 16000 кгр. метров или 16 тоннометров. На этих опытах заряд был в оболочке, т.е. с забивкой.

Еще одно указание об эквиваленте между ударом и взрывом можно найти в статье Эмпергера^{x)}, где отмечается, что опыты показали, что 0,1 кгр.В.В. дает действие близкое к 282 кгр. метрам ударной энергии, что дает на 1 кгр. В.В. эквивалента в 2,820 тоннометра. Малая величина эквивалента может быть объяснена во первых отсутствием забивки, а затем малой величиной заряда.

Теперь сделаем пример по расчету действия снаряда со взрывателем без замедления.

x) Beton und Eisen. Heft XII/XIII u. XIV/XV 1921
Versuche mit Fall und Explosionsenergie bei Eisenbetonbalken.

I. Берем заряд 202 мм. со следующими данными:

$$P = 98 \text{ кгр.} \quad C = 22,1 \text{ кгр.} \quad \alpha = 20,3 \text{ саят.}$$

$$l = 95 \text{ см.} \quad v = 264 \text{ метр/сек.} \quad \alpha = 50^\circ 10'$$

Живая сила удара по вертикали будет

$$\frac{mv^2}{2} \cos^2 \alpha = \frac{Pv^2}{2g} \cos^2 \alpha = \frac{97 \cdot 264^2}{2 \cdot 9,81} \cdot \cos^2 50^\circ 10' = 143 \text{ тонно-метра.}$$

Эквивалентное этой работе количество ВВ равно $\frac{143}{12} = 12$ кгр. Таким образом расчетный заряд ВВ равен $12 + 22,1 = 34,1$ кгр., откуда глубина воронки в бетоне $p = 0,13 \sqrt[3]{34,1} = 0,10 = 0,32$ метра. Фактически наблюдаемая глубина была 0,28 метра.

II. 152 мм. снаряд крепостной гаубицы образца 1909г. Данные его $P = 40$ кгр., $C = 8,6$ кгр., $v = 244$ м/сек. Сведений об угле в стрелы нет. Наблюдаемая воронка имела глубину в 27,5 саят. Произведем расчет аналогично вышеприведенному.

Энергия удара

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{40 \cdot 244^2}{2 \cdot 9,81} = 121 \text{ тоннометр.}$$

Эквивалентное количество ВВ равно

$$\frac{121}{12} \cong 10 \text{ кгр.,}$$

откуда суммарный расчетный заряд $C = 8,6 + 10 = 18,6$ кгр., а глубина воронки $p = 0,15 \sqrt[3]{18,6} = 0,075 = 0,32$ метра. И в этом случае, если учесть, что безусловно не было нормального попадания, результаты получаются одного порядка.

В заключение этой главы отметим еще влияние на местное действие этажности защитных преград, не рассматривая подробно этот вопрос.

Для расчета в этом случае местного ударного действия можно пользоваться формулой пробивания или про-

никания, при чем в тех случаях, когда расстояние между отдельными покрытиями больше длины снаряда или аэробомбы, можно считать сопротивляемость таких покрытий увеличенной на 20%. х)

В отношении фугасного действия по этажным преградам можно привести следующий пример, опыт произведенный в Грауденце хх), там производилась опыты над действием пироксилиновых зарядов по стенам - одной сплошной в 2,1 метра толщиной, а другой, состоящей из двух стен толщиной по 0,90 метра с промежутком в 0,30 метра. Одинаковые пироксилиновые заряды произвели различное действие: в одном случае оказались пробитыми 0,90 метра, т.е. одна стена, а во втором - 2,1 метра, т.е. вся стена.

Это вопрос, который подлежит специальному изучению.

х) АГОЖАС. Воздушная артиллерия 1928 г. стр.106

хх) Отчет о заседаниях в конференц.зале Инж.Академии. 1890 г. стр.82.



Фиг. 26.

Г Л А В А II .

РАСЧЕТ ВСЕХ НЕОБХОДИМЫХ ЗАЩИТНЫХ ТОЛЩ ФОРТИФИКАЦИОННОЙ ПОСТРОЙКИ.

Назание откола, различные методы расчета противооткольной толщи. Различные предположения по расчету необходимой защитной толщи у нас и за границей. Их сравнение. Установление расчета ориентировочных размеров покрытия, стен и фундамента.

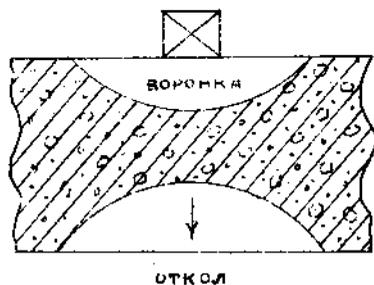
Как мы уже отмечали, за исключением местных разрушений (деформаций), все остальные повреждения тесно связаны с конструктивными размерами защитной постройки, а поэтому установление последних требует предварительного ознакомления с возможными разрушениями конструкций.

Установление окончательных же конструктивных размеров будет производиться на основе правил строительной механики, таким образом те или иные разрушения будут целиком определяться величиной допускаемых напряжений.

Наиболее существенным разрушением является "откол" отлом части материала во внутрь помещения. На фотографии 26 представлен общий вид такого повреждения, произведенного в траверсе mortarной батареи №13 на Золотой горе в Порт Артуре во время бомбардировки 26 февраля 1904 г. 30 сантим (12 ти дюйм) снаряд разорвался у передней стены казематированного траверса (фот.26), произведя воронку диаметром 7,8 метра (26 фут) и глубиной 1,8 метра (6 фут), в бетонном своде и стене толщиной 1,5 метра (5 фут) произвел обвал бетона на глубину до 0,30 метра, объем площади до 5 кв. метров (55 кв.фут) .

Я) Житкович. Применение железобетона в крепостных сооружениях.

Это наблюдается в тех случаях, когда взрыв заряда происходит на защитной среде ограниченных размеров (ч. арт. 27)



Черт. 27

Прежде всего нужно отметить, что откол весьма часто наблюдается в подрывной практике. Достаточно здесь привести несколько примеров из подрывания стоек ^{х)} (черт. 28).

Из этих примеров, а также из нижеприводимой таблицы мы видим, что с увеличением величины заряда увеличиваются размеры откольной воронки.

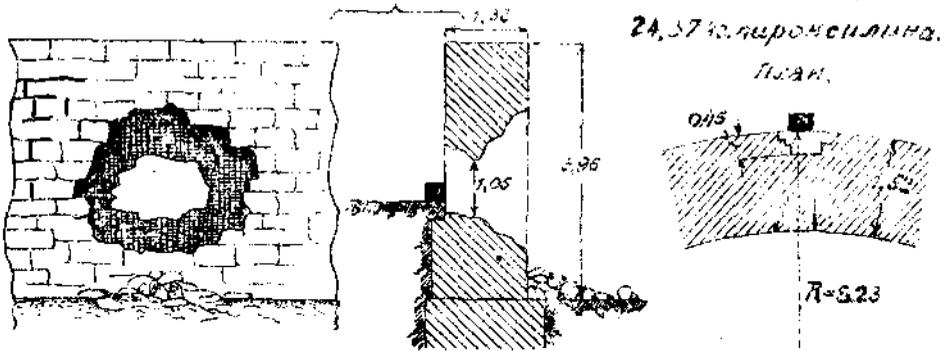
х) Проф. Джкевич. Стр. 100. Применение железобетона в крепостных сооружениях.

хх) Ведицке. Исследование новейших средств осады и обороны крепости.

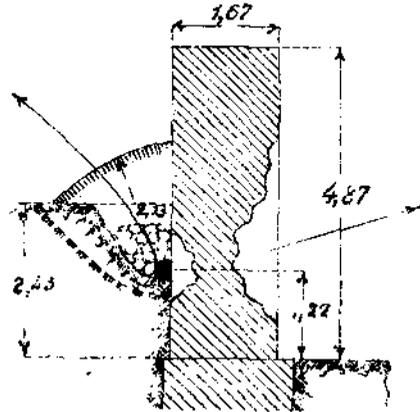
Появление откола об'ясняют различно. Некоторые представляют это явление как результат удара по ряду упругих шаров, соприкасающихся между собой, напр. удар крокетных шаров при крокетировании, удар по переднему шару вызывает отражение последнего ^{х)}. Другие об'ясняют это явление, как результат изгиба работы сил растяжения совместно с собственным весом и сотрясением.

Постараемся разобраться в этом явлении.

24,57 кг. пироксилина.



26,40 кг. пироксилина.



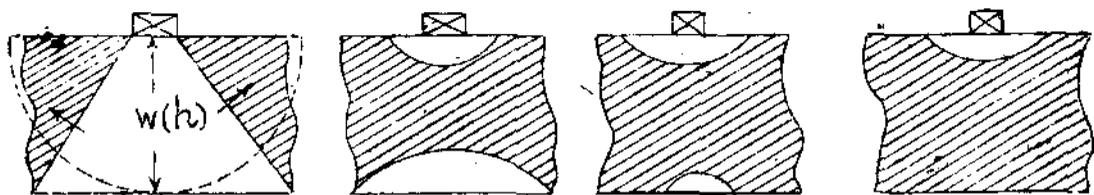
Черт. 28.

Т а б л и ц а

№ по пор.	Размер стени с покр. в метр.	Бетон	Заряд взрыв. вей. 0 кгр.	Опытная глупина		Теор. заряд по формуле Сафьяна. Наот. РККА.	Sprengvorschrift $L = W^3 CD$	Примечание.
				воронки.	откола.			
1	п. 0,50	Армир.	4,4	0,21	0,12	5,6	5,6	
2	"	Арм. ж.	"	0,20	0,17			
3	"	"	"	0,20	0,16			
4	"	"	"	0,19	0,13			
5	"	Арм. л.	"	0,18	0,17			
6	"	Арм. пл.	"	0,17	0,10			
7	"	"	"	0,11	0,08			
8	с. 0,60	Арм. ж.	6,9	0,23	0,25	8,75	9,72	
9	"	"	"	0,17	0,32			Стена не-кольцо слаба.
10	"	"	"	0,17	0,22			
11	"	"	"	0,15	0,36			
12	"	Арм. пл.	"	0,19	0,30			
13	"	"	"	0,16	0,22			
14	с	Жест.	6,9	0,18	0,42	4,38	4,86	Очев. забивка на опытах была не-стат. содер-жена.
15	"	Пласт.	"	0,09	0,50			
16	"	"	"	0,08	0,42			
17	"	"	"	0,02	0,37			
Опыты 1886г. на Кавказском саперном полигоне.								
18	с. 1,35	Кладка из гран. камня на цементе.	24	Сквозное пробитие.				
19	0.1,5	"	24	0,45		наметилась трещина		
20	с. 1,65	Кладка из тесан. камня.	25,8	0,39		0,75		

С дальнейшим увеличением заряда можно получить пролом, брешь в стене. Таким образом откол можно рассматривать как первоначальную стадию бреширования защит. среды огранич. размеров.

Действительно, если взять среду ограниченных размеров, например стену, покрытие и взорвать на ней заряд В.В. величиной соответствующей линия наименьшего сопротивления, то получим сквозное отверстие (брешь). Образование этой бреши, пролома можно об'яснить тем, что работа взрыва была достаточна, чтобы преодолеть сопротивление выбрасываемого конуса отрыва от остальной среды (черт.29)



Черт.29.

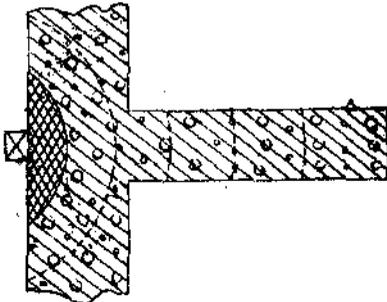
О величине приложенного усилия можно судить по размерам поверхности разрыва. В случае меньшего заряда сквозного пролома не будет, в этом случае образуется внешняя воронка и откольная, при чем в этом случае очевидно поверхность отрыва менее, т.е. на этот отрыв потребовалось меньшее усилие.

В момент взрыва освобождается значительное количество механической энергии, распространяющейся во все стороны из одного пункта, а поэтому подчиняющейся общему закону распространения энергии, т.е. обратно пропорционально квадрату расстояния.

Взрывная волна (по аналогии со световой звуковой волной) в зависимости от удаления от места взрыва несет в себе различные давления, падающие также об-

ратно-пропорционально квадратам расстояния.

Закон падения давлений по мере удаления от места взрыва меняется в зависимости от конструкций, так в больших массивах он падает обратно пропорционально квадратам расстояний, а в массивах ограниченных размеров напр. при действии взрыва вдоль длинной стороны стены (черт. 30) закон падения давлений будет иной, давление падает



Черт. 30.

длиннее, явление откола замечается на значительно больших расстояниях. Это показывает, что явление откола сложно. Действительно, откол является в результате недостаточной толщины бетонной среды, при которой напряжения внутренних

растягивающих сил, превзошли предел временного сопротивления бетона растяжению, но определить точно сечение, в котором оказались эти опасные напряжения заранее трудно, если не сказать невозможно. Конструктивно борются с этим явлением, применяя сильный поддерживающий слой или усиливая среду вертикальными связями.

В данном случае можно отметить аналогию между формулой $s = \alpha \beta h^3$, определяющей величину заряда для образования сквозного отверстия в стене и формулой пробивного действия.

Действительно, если механическую работу I кгр. ВВ обозначим через E , то $SE = \alpha \beta h^3$ или $h^3 = \frac{E}{\alpha \beta} = z_1 E$.

Точно также может быть представлена формула пробивного действия

$$S^3 = k P v^2 \quad \text{в виде} \quad S^3 = 2 g k \frac{P v^2}{2 g} = z_2 E.$$

Последняя формула позволяет между прочим дать от-

вет -какая необходима энергия удара для пробивания покрытия с одного попадания, чего хотел добиться Мальчиковский^{х)}, напр. для пробития бетонного покрытия толщиной 3,5 метра нужна энергия удара

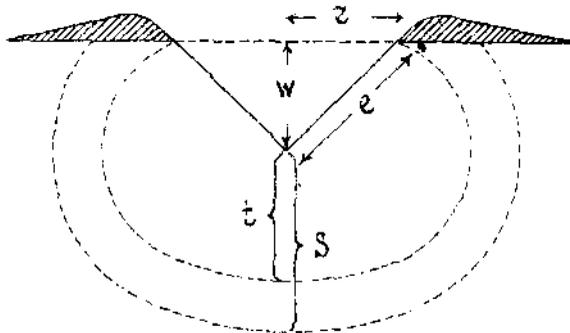
$$E = \frac{S^3}{z_2} \quad \text{где}$$

$$z_2 = 2g \cdot 0,2 = 2 \cdot 9,81 \cdot 0,2 = 3,92$$

$$E = \frac{350^3}{3,92} = \frac{43000000}{3,92} = 11000000 \text{ кгр.метр}$$

∞ 11000 тонномер.

Эта близкая связь явления откола с образованием сквозных отверстий в каменных стенах и объясняет то, что во многих иностранных источниках (Leithner, Италия, Швеция) для определения защитных толщ (противостольных толщ), не дающих откол, применены формулы подрывного наставления и теории минного дела. А именно считали на основе опытных наблюдений, что откол отсутствует, если толщина защитной среды равна радиусу взрыва (чер. 31).



Черт.31

Обозначают:

через w - линию сопротивления.

" z - радиус воронки.

" e - радиус взрыва.

" t - радиус разрушения

$\left. \begin{matrix} p = \frac{e}{w} \\ n = \frac{z}{w} \end{matrix} \right\}$ - численные показатели.

Если только $p \leq 1,8$ (или $n \leq 1,5$), то радиус взрыва связан с величиной заряда простой формулой

х) Мальчиковский. Инж. - Артиллер. Вопросы. 1914 г.

$$e = \sqrt[3]{\frac{l}{c}}$$

где e - радиус взрыва в метрах, l - заряд в кгф. и c - коэффициент. Последние выбирались путем опытов таким образом, чтобы уже надежно гарантировать от появления отколов, т.е. они по величине отличаются от подобных же коэффициентов, употребляемых в подрывной технике, так как там преследуется цель обязательно разрушить объект. Значения коэффициентов следующие:

А. Для стен.

- 1. Свободно расположенный заряд выше основания 8,00
- 2. Заряд у стены слегка забит или слегка углублен в стену и забит... 1,80
- 3. Примкнутая стена, заряд расположен со стороны земли и забит..... 0,90

В. Для сводов (или нагруж.стен).

- 1. Свод без земляной обсыпки, заряд свободно расположен на забудке.... 9,00
- 2. Свод с малой земляной обсыпкой, заряд слегка забит 3,40
- 3. Свод со значит.обсыпкой, заряд основательно забит..... 1,75

Используя вышеприведенную формулу *Leithner* дает следующие формулы для расчета противооткольной толщи.

А. Для стен.

- 1. $d = 0,50 \sqrt[3]{l}$
- 2. $d_1 = 0,82 \sqrt[3]{l}$
- 3. $d_2 = 1,04 \sqrt[3]{l}$

В.Для сводов (нагр.стен)

- 1. $D = 0,48 \sqrt[3]{l}$
- 2. $D = 0,66 \sqrt[3]{l}$
- 3. $D = 0,83 \sqrt[3]{l}$

Расчетные случаи берутся в зависимости от возможного положения снаряда.

Позднее (1912 г.) подобного же характера расчет, который подчеркивает надежность данных *Leithner*'а, мы встречаем у *Nobile* только с несколько иными коэффици

ентами, на основе коих можно составить следующие выражения:

А. Для стен:	В. Для нагруж. стен:
1. $d = 0,45 \sqrt[3]{l}$	1. $d = 0,40 \sqrt[3]{l}$
2. $d_1 = 0,57 \sqrt[3]{l}$	2. $d = 0,52 \sqrt[3]{l}$
3. $d_2 = 0,71 \sqrt[3]{l}$	3. $d = 0,58 \sqrt[3]{l}$

Численные коэффициенты получились меньше, так как эти формулы дают пробиваемую толщ.

Применение формул *Nobile* мы находим и в Швеции. Этот метод расчета требует большего числа отдельных формул, он не отражает значение формы заряда.

Интересен расчет, применяемый в Италии, последнее время мы встречаем его в статье *Romani* 1927г.^{x)}

Расчет противоткольной толщ производится, исходя из величины радиуса взрыва, на пределе сферы описанной этим радиусом берется давление равным 1,033 кгр/см².

Метод расчета следующий. Линия наименьшего сопротивления h связана по теории минного искусства с зарядом C формулой $C = mh^3$, где m коэффициент зависящий от свойств среды и В.В.

напр. $m = 1,45$ в обыкновенн. земле

и $m = 3,63$ в бетоне

при применении обыкновенного пороха.

Детонир. бризан. В.В. сильнее в 2 раза. Определив таким образом по формуле $2C = 3,63h^3$ линию наименьшего сопротивления, величину радиуса взрыва R можно определить из выражения $R = h\sqrt{2}$. Зная радиус взрыва не трудно определить радиус разрушительного действия d для данной среды, воспользовавшись величиной давления разрушения

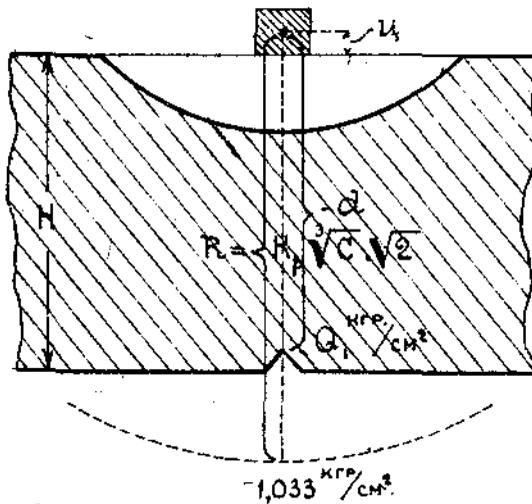
$$p = 1,033 \left(\frac{R}{d}\right)^2,$$

где p - выражено в кгр/см², R и d в метрах, p принимается равным 6 кгр/см² для обыкновенных каменных кла-

x) *Rivista di artiglieria e Genio* 1927г.V.

док и 10 кгр/см² для цементированных.

Если последнее выражение переписать так (черт.32)



Черт.32.

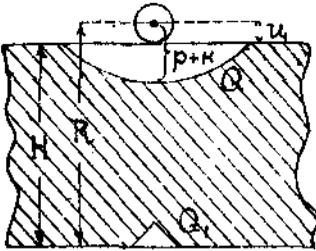
$\frac{p}{1,033} = \frac{R^2}{d^2}$, мы видим, что здесь использован закон падения давления обратно пропорционально квадратам расстояний.

В частном случае для бетона можно составить для радиуса разрушительного действия следующее выражение

$$d = 0,37 \sqrt[3]{C}$$

Этот метод расчета весьма близок по своему построению, принятому у нас, выведенному проф. Житкевичем в предположении, что на дне воронки от взрыва давление равно временному сопротивлению среды сжатия Q кгр/см². Это давление взято проф. Житкевичем за исходное для определения давления на любом расстоянии. Одновременно сделано предположение, что явление откола прекращается как только на нижнем обресе покрытия напряжения не пре

восходят временного сопротивления среды растяжению Q , кгр/см². Обозначая противооткосный радиус через R можем написать, что (черт.33)
$$\frac{Q}{a} = \frac{R^2}{(p+k)^2} \quad \text{откуда}$$



$$R = (p+k) \sqrt{\frac{Q}{a}} \quad \text{но } p+k = K_{\text{вз}} \sqrt[3]{C}$$

$$R = K_{\text{вз}} \sqrt[3]{C} \sqrt{\frac{Q}{a}} \quad \text{и } H = K_{\text{вз}} \sqrt[3]{C} \sqrt{\frac{Q}{a}} - a$$

Черт.33

Приведем эту формулу по форме близкой к ранее приведенным, а именно

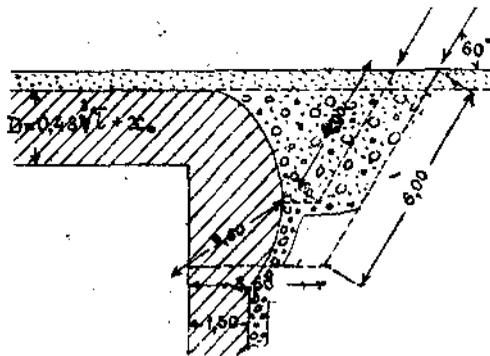
$$R = 0,60 \sqrt[3]{C} \quad (K_{\text{вз}} = 0,175, \quad \sqrt{\frac{Q}{a}} = 12)$$

$$R = 0,47 \sqrt[3]{C} \quad (K_{\text{вз}} = 0,15, \quad \sqrt{\frac{Q}{a}} = 10)$$

Выявившийся некоторый разнобой в определении величины противооткосной толщи находит отражение и в определении размеров, необходимых защитных толщ.

Здесь тоже имеет место различные подходы. Мы кратко постараемся привести различные методы и дадим их сравнение. Наряду с тем, что существовали мнения о возможности установления размеров защитных построек только опытным путем, уже в 1894 г. мы находим у Leithner'a прием расчета необходимых толщ. Толщина покрытия без поддерживающего слоя определяется из формулы $L = 0,48 \sqrt[3]{L}$, к которой прибавляется глубина проникания x , обычно 0,15-0,10 метра, при этом пролет допускается не $> 5,00$ метров и минимальная земляная обсыпка. При плоском покрытии выше определенная толщина свода уменьшается на 10%. Расчет двуглавых балок поддерживающего слоя будет приведен далее. Толщина тыльных стен определяется на одно действие взрыва по формуле $L = 0,83 \sqrt[3]{L}$ (черт.34)

считая, что ударное действие должно быть поглощено об-



Черт. 34.

сыпкой и каменной наброской. Расчет остальных стен не приводится, а даются готовые размеры. Также не приводится расчет фундамента.

Гроссман также применял расчет, предложенный Leitner'ом.

Большой известностью пользуется прием расчета данный проф. Толженем, он делит мысленно покрытие на 3 горизонтальных слоя: 1) верхний - предназначенный выдержать местное разрушительное действие, равный суммарному действию $S = l + p$, где l определяется по формуле Пароди $l = m \frac{P}{Q^2} \log \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{V}{100} \right)^2 \right]$.

2) Средний промежуточный, толщина которого должна быть такова, чтобы напряжения, передаваемые через него поддерживающему 3 слой, не превосходили предела прочного сопротивления материала этого последнего. Так как давления передаются обратно-пропорционально квадратам расстояния до центра заряда, то обозначая через u удаление центра заряда BB , через b - толщину среднего слоя, через Q давление на поверхности среднего слоя и через αQ давление на верхнюю поверхность поддерживающего слоя, имеем

$$\frac{a}{\alpha a} = \frac{(u+S+b)^2}{(u+S)^2},$$

откуда $b = (u+S) \left(\frac{1}{\sqrt{\alpha}} - 1 \right)$ На основе опытов в Браекате Толлен определил $\alpha = \frac{1}{6,5}$, в результате чего $b = 1,5(S+u)$. Наконец толщину поддерживавшего слоя, в зависимости от пролета d и стрелы свода f , он находит по формуле

$$c = 0,15 + \left\{ 0,16 - \frac{d}{100f} \right\} \frac{\sqrt{d^2 + 4f^2}}{4f}.$$

Следующий прием дает Nobile, который применяется в Швеции (см. статья Tjadden'a), к сожалею примера даны только для расчета покрытия близкого к своду. Сперва определяется проникание по формуле $S = \frac{P_3}{\lambda} \kappa F$, а затем радиус разрушения $m = 0,45\sqrt{l}$ или $m = 0,40\sqrt{l}$ и необходимая толща равна $S+m$. Очевидно для стен могут быть применены те же формулы.

Мало отличается от этого расчета в конечных формулах расчет, приведенный Romani в статье "Убежища воздушной обороны", а именно сперва определяется ударное действие, а затем радиус разрушительного действия по формуле $d = 0,37\sqrt{C}$, вывод который был дан выше. По сколько этот радиус действительно дает разрушение, он отвечает формулам подрывных наставлений ($0,28\sqrt{C}$ и $0,42\sqrt{C}$), то Romani, складывая $S+d$, прибавляет примерно $0,10d$. Расчет этот приведен для свода.

Там, где нет указаний относительно расчета плоских покрытий нам представляется возможным использовать прием Leithnera (уменьшение защитной толщ на 10%).

Рассматривая эти иностранные приемы, мы видим игнорирование местных разрушений от взрыва, расчет идет следующим путем, определяется глубина проникания и в этом положении берется толща, разрушаемая взрывом за

ряда несомного снарядом и прибавляется к ней некоторая величина для запаса.

У нас имеет применение несколько приемов определения необходимой защитной толщи, кратко напомним их:

I способ. Определяется глубина проникания по формуле

$$l = K_n \frac{P}{d^2} v \cos \alpha,$$

а затем противооткольная толща по соответствующей формуле $H = K_n \sqrt[3]{C} - \alpha$, для свода таким образом защитная толща равна $l + H$, при плоском покрытии на сплошном ряде балок уменьшается толща покрытия на тройную высоту балок, при укладке балок в разбежку на двойную их высоту. Также рассчитываются стены. K_n - коэффициент податливости отколу равен $K_n \sqrt{\frac{Q}{Q_0}}$ (см. приложение 5).

II способ. Необходимая защитная толща определяется по одной формуле $H = K_n \sqrt[3]{C + C_1} - \alpha$, где C_1 - эквивалентный по действию живой силе удара заряд, определяемый следующим образом $\frac{Pv^2}{2g} : 12$; этот метод предложен проф. Карпичевым.

III способ, предложенный проф. Кохановым состоит в том, что сперва определяется суммарное местное разрушительное действие $S = l + p$ и затем прибавляется толща, равная 50% от суммарной глубины воронки и еще поддерживающий слой. Таким образом общая защитная толща равна $S + \frac{1}{2} S + a$, где a - толщина поддерживающего слоя.

Сравнительная диаграмма защитных толщ, определенных равными методами показывает в общем величины одинакового порядка, за исключением данных Толлена, что дает уверенность, что указанные толщи действительно являются достаточными. Посмотрим каковы же необходимые защитные толщи, даваемые официальными наставлениями:

1) Vorschriften für den Stellungskrieg für alle waffen
10 и 26 АВГУСТА 1918 г.

Железо-бетон:	Калибр снарядов	
	15 см.	21 см.
Защитное покрытие	0,8 мт.	1,00 мт.
Стены, подверженные обстрелу	1,0 "	1,5 "
Стены, не подверженные	0,6 "	0,6 "
Стены внутренние не опорные	0,4 "	0,4 "
Фундамент	0,5 "	0,8 "

2) Instruction sur l'organisation du terrain 1917, 1920 гг.
даёт

Тоже для железобетона против снарядов калибра	21 см.	38 см.	42 см.
Свод	1,5 м.	2,0 м.	2,0 м.
Плоское защитное покрытие	1,0 м.	1,5 м.	1,75 м.

3) Field works for pioneer battalions 1918 г. даёт
для

Защитных покрытий против снарядов калибра	20 см.	30 см.	38 см.
Из обыкновенного бетона	1,5	1,8	2,1
Железобетона	1,0	1,2	1,5

4) Field Engineering (С.А.С.Ш.) 1923 г. даёт,
что 0,90 метра бетона выдерживает снаряд в 8 .

5) Feldbefestigungsvorschrift (1923 г.) даёт необходи-
мому толку против легких полевых гаубиц в 1,0
метра бетона.

Данные из курса фортификации польской военно-инженерной школы ^{х)} дают следующие толщи:

	снаряды 150 мм.	210 мм.
Защитное покрытие - свод	1,10 м.	1,50 м. арх. б.
Плоское покрытие	1	1,20-1,30
Стены тыловые и боковые	{ 1,50	2 б.
	{ 1,20 ж. б.	1,50 ж. б.
" лицевые	{ 1 б.	1,20 б.
	{ 0,8 ж. б.	1,00 ж. б.
Стены внутренние спорные	1 б.	1,2 б.
Фундаменты	0,8 б.	1 бет.

Эти данные также подчеркивают достаточную практическую применимость вышеприведенных расчетов, а потому нам представляется возможным базировать установление ориентировочных расчетов на них.

Выбирая те или иные формулы для расчета желательно по возможности уменьшать число их, чтобы сократить необходимые подсчеты. С этой точки зрения, поскольку в дальнейшем, в универсальном расчете, основной величиной взята офера разрушения, являясь бы целесообразным и расчет ориентировочных размеров провести на основе расчета формул, определяющих оферу разрушения, тем более, что это принято в большинстве иностранноточников. Однако, учитывая, что и этот метод является все же несовершенным, так как не отвечает на изменение времени, т.е. что необходимо в дальнейшем выработать соответствующие формулы на основе экспериментальных исследований, то наипривозможным в настоящее время сохранить те приемы, которые у нас были приняты. Таким образом для определения необходимой защитной толщи покрытия, мы устанавливаем следующий прием: ударное действие определяется по формуле
$$L = K \frac{P}{d^2} v \cos \alpha$$
 с соответ-

х) Война и Техника 1928 г. №7, статья Серчевского.

стившими поправочными коэффициентами, зависящими от величины скорости, без учета земляной обсыпки, затем определяется противозоткольная толща $H = K \cdot \sqrt{C} - \alpha$, при положении сжаряа джа плавня на дне ударной воронки, а затем в зависимости от характера поддерживаемого слоя идет уменьшение этой толща; при двутавровых балках, уложенных с промежутками в 9,30 сант., уменьшение может равняться двойной высоте балок a . Таким образом необходимая суммарная толща равна

$$l + H - 2a \cdot x)$$

На каждый метр пролета сверх 4 метров необходимо прибавлять к этой толще 15-20% ее.

Для расчета покрытия против действия аэробомб применим тот же метод только с некоторыми особенностями, а именно, как и при расчете местных разрушений берутся два положения:

1) аэробомба располагается стеной вертикально, на дне воронки от удара, который учитывается полностью, в этом случае покрытие рассчитывается по выше приведенной формуле $l + H - 2a$.

2) аэробомба располагается дном плавня на покрытии, при этом ударное действие исключается совсем, расчетная формула в этом случае получает следующий вид

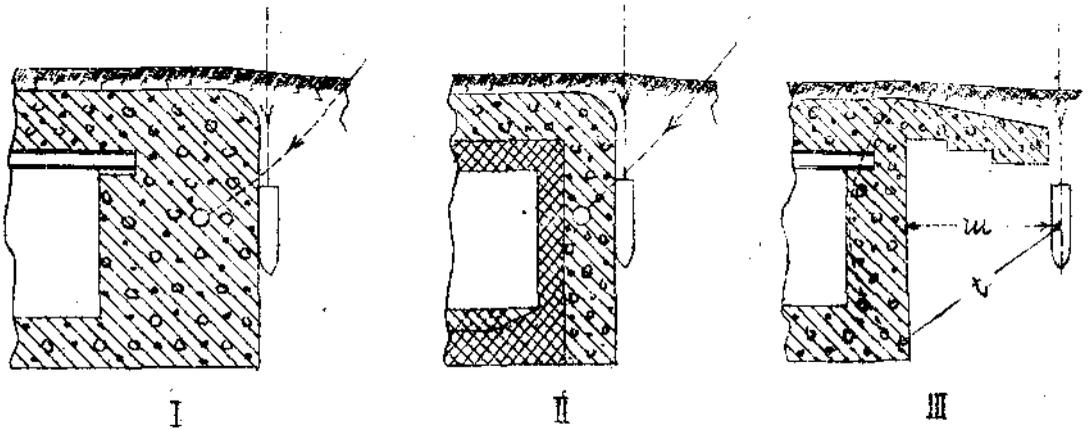
$$H - 2a.$$

Расчет тальных стенов может производиться точно подобным же образом, только с учетом изменения угла встречи, поскольку здесь вертикальная преграда, причем ударное действие нужно рекомендовать в полном размере, так как земляная обсыпка может быть легко ослаблена предыдущими попаданиями.

Расчет боковых стенов, для которых в зависимости от направления арт. огня может быть исключено ударное дей-

x) При армировании нужно вычитать не $2a$, а только $1,5a$ или даже a .

стене, ведется на необходимую противооткольную толщину. Поскольку обеспечение стен возможно тремя способами (черт.35): 1) приращением стены соответствующей толщиной



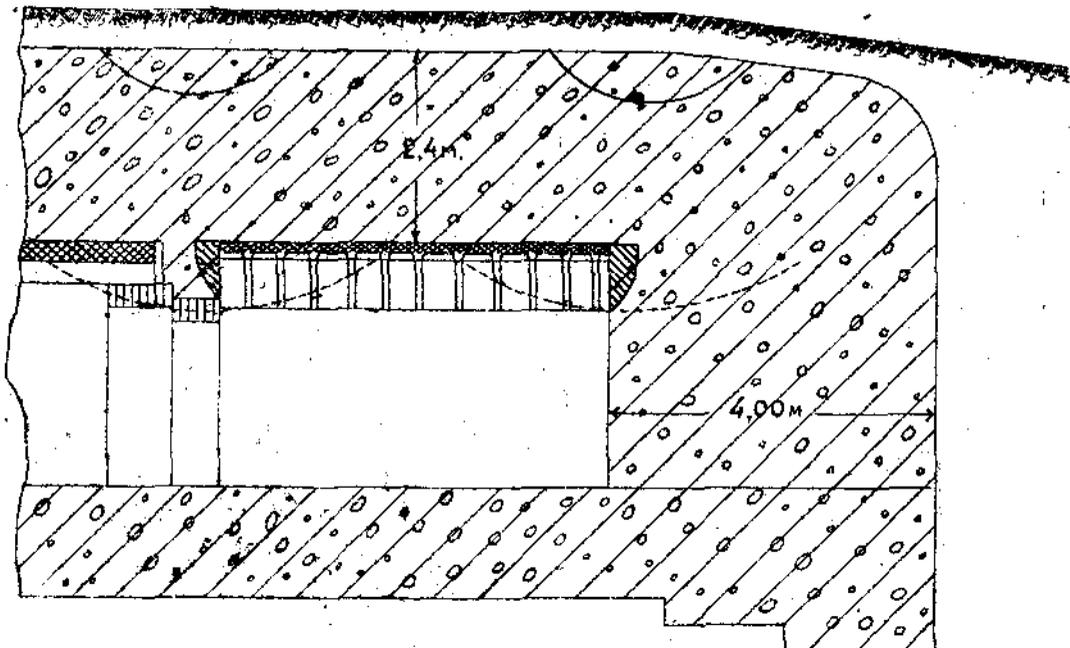
Черт.35

однородного материала, 2) применением противооткольной рубанки (железобетонной, металлической и т.п.), позволяющей уменьшить толщину стены и 3) устройством тыфяков вокруг стен (применяется только для защиты от взорбомб); каждому случаю должен отвечать соответствующий расчет.

Для первых двух случаев он будет заключаться в выборе соответствующего коэффициента K_p (см. приложение 5), для третьего случая необходимо определить размеры тыфяка, стена берется в этом случае равной толщине покрытия.

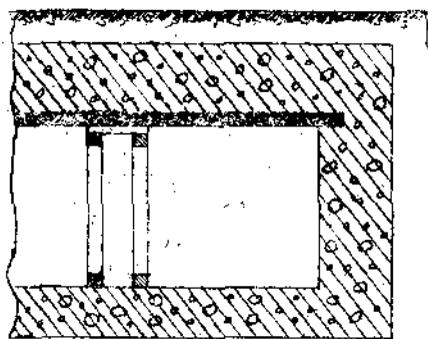
Ширина тыфяка $ш$, учитывая и работу сопротивления стен определяется из формулы $ш = t - \frac{K_p''}{K_p'} A - \frac{d}{2}$, где t - радиус сферы разрушения в обсыпке, K_p' и K_p'' - соответственно коэффициенты сопротивления разрушению стены и обсыпки и $\frac{d}{2}$ - половина диаметра взорбомбы.

Особое внимание нужно обратить на расчет сопряжения стен с покрытием. Опасность здесь заключается в том, что мы здесь имеем переход от конструкции с сильным поддерживающим слоем к конструкции без такового, что позволяет образование следующих разрушений (черт.36)



Черт. 36

Конструктивно на этот вопрос было обращено внимание уже давно, достаточно вспомнить утолщение сводов (Leithner, Аренис и Шьянбъ), выпуск поддерживающего слоя в толщу наружных стен (проф. Коханов, см. черт. 37),

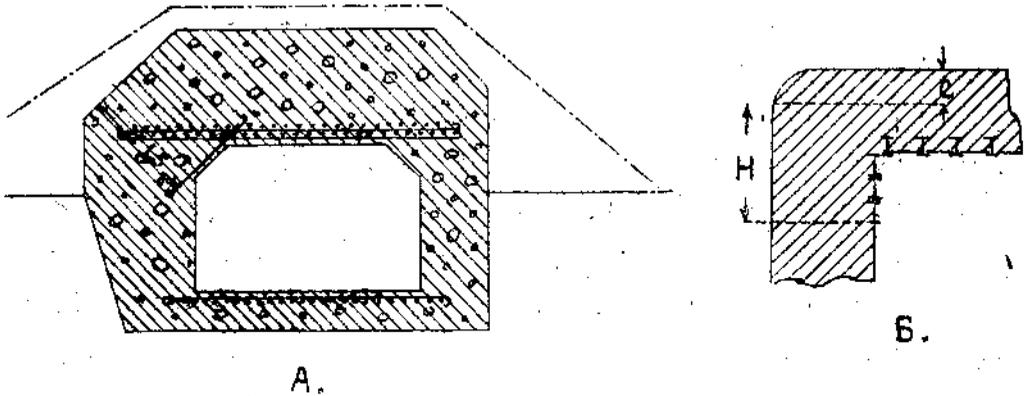


Черт. 37

специальное расположение арматуры и утолщение (звездская конструкция черт. 38 А).

Учитывая расслаивающее действие выпуска поддерживав-

ного слоя в стене, нам представляется более выгодным продолжить поддерживающий слой с внутренней стороны наружных стен (черт. 38Б) на глубину противостоящей толщи, вычисленной для покрытия.



Черт. 38.

Стены наружные должны повертаться по формуле пробивного действия

$$S = \sqrt[3]{K P U^2},$$

а также на совместное действие проникания и пробивания, чтобы гарантировать от сквозной пробивки.

Расчет фундамента ограничивается назначением его толщины, при этом допускается возможность заливки смарада непосредственно под ним. Толщина определяется по соответствующим формулам подрывного наставления.

Для облегчения всех расчетов, необходимых толщ можно использовать номографические расчеты ^{х)}.

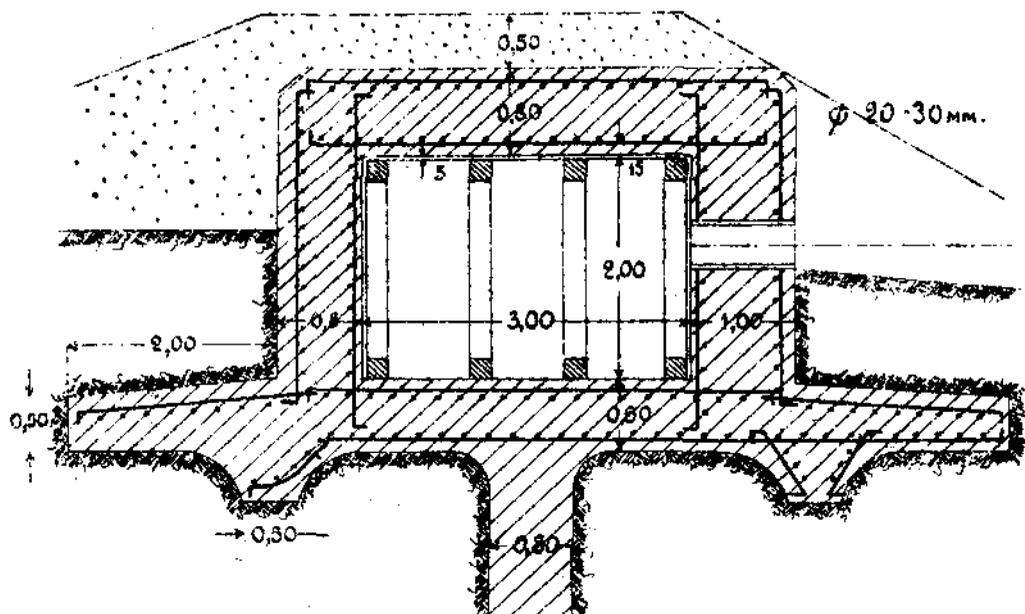
Остается теперь еще последний вопрос с предельном объеме заданной постройки. Как показал опыт мировой

х) Известия ВТЭК. Статья Горланова.

время очень часто защитные постройки, сохраняя целостность своих элементов, выродились из строя опрокидыванием, взрыванием из своего места (см. описание Зигфридовской линии ^{х)}).

Виктор Чайник в своей статье о действии арт. снарядов описывает зависимость соответствующего устройства основания постройки против подрывного опрокидывающего действия снарядов, считая что минимальная толщина основания из бетона должна быть 0,8 м.

Он пишет о наблюдаемом им на итальянском фронте факте, когда несомненно прочный бетонный наблюдательный пункт в Санта-Лучия местью стал. 38 см. гранатами был прямо вырван из земли, а его гарнизон уничтожен. Граната при этом не задела прямо наблюдательного поста, а подняла его обочку. Чайник подчеркивает очень хорошую сопротивляемость железобетонного укрытия, изображенного на черт. 39.



Черт. 39.

х) Известия ВТАж. Статья проф. Яковлева.

zx) Војенско-техничке Зрґаву 1930г. №2-3

Виктор Чайник. О действии артиллер. снарядов.

Последнее обстоятельство имеет особо важное значение для оборонительных построек, так как смещение ее даже на весьма незначительный угол может такую постройку лишить обстрела. При определении предельного объема построек нам представляется возможным исходить из объема земли, выбрасываемой зарядом, находящимся в снаряде. Объем зависит от веса среды, поэтому определяя вес постройки можно предвидеть действие. Поскольку для нас является нежелательным даже некоторое смещение построек, то мы должны учитывать максимально возможный объем выбрасываемой земли (смещенной), при условии даже только намечаемого сдвига, это нам дает заряд наибольшего камуфлета.

Поэтому последовательность расчета берется следующая.

Взяв расчетный снаряд, берется величина его заряда В.В. и принимая его за наибольший камуфлет определяется объем выбрасываемой земли по таблице I Наставления "подземно-минное дело".

Определим подобным образом предельные минимальные объемы построек против полевых калибров.

Берем снаряд 152 мм. полевой гаубицы с зарядом ВВ в 8,8 кгр. Соответствующий этому заряду при прочих равных условиях заряд простого горна будет $8,8 \times 5 = 44,0$ кгр. или 88 кгр М.В.В. Этот заряд при линии наименьшего сопротивления в 4 метра дает объем воронки в крепкой синей глине, равный 117,12 куб.метров, а учитывая отношение весов бетона и крепкой синей глины, определим соответствующий по весу объем в 88-90 куб.м.

Определим тоже для снаряда 76 мм. полевой пушки, вес заряда В.В., равный 0,8 кгр. Откуда расчетный заряд М.В.В. для таблицы I будет $0,8 \times 5 \times 2 = 8$ кгр., объем выброшенного грунта 6,18 куб.мтр., и предельный объем постройки равен 4,5 куб.м.

Для снаряда 122 мм. полевой гаубицы с зарядом ВВ в

4,8 кгг. получим соответственно 35 куб.метров.

Последнее определение сделаем для снаряда 200 мм. с зарядом в 22 кгг. Расчетный заряд будет $22 \times 5 \times 2 = 220$ кгг. М.В.В. получаем об'ем воронки из растительной земли в 228,75 м.³, что дает при соотношении веса бетонной кладки к весу растительной земли.

$$\frac{2400}{1500} = 1,6 ,$$

об'ем защитной постройки в

$$\frac{228,75}{1,6} = 140 \text{ куб.метров.}$$

Имея таким образом все ориентировочные размеры защитной постройки можно перейти к их окончательному установлению на основе статического расчета, применяя соответствующие расчетные нагрузки отвечающие действию снаряда.

Г Л А В А III.

РАСЧЕТ ПРОЧНЫХ РАЗМЕРОВ ЗАЩИТНОЙ ПОСТРОЙКИ НА
ОСНОВЕ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ.

Нагрузки эквивалентные действию удара и взрыва: равномерно-распределенные, сосредоточенные и проч. Разбор их. Краткое описание различных приемов опытного измерения динамических нагрузок. Подробный разбор двух методов измерения: 1) при помощи прибора "Kuldosa" и 2) пьезоэлектрический метод. Составление выражения эквивалентной нагрузки в общем виде. Давление на пределе сферы разрушения. Универсальный метод расчета покрытий. Примеры расчета. Расчет прочных размеров стен, фундамента и отдельных деталей. Допускаемые напряжения

Уже в конце прошлого столетия встречаются попытки дать расчет оборонительных построек, обнимающий не только вопросы определения возможных местных деформаций и необходимых защитных толщ, но и определяющий прочные размеры отдельных частей постройки, как всякого инженерного сооружения.

В настоящее время особенно ощущается все большая необходимость уметь рассчитывать сопротивление различных сооружений действию огневых средств поражения, так как развитие техники воздушного нападения все увеличивает районы, в которых надлежит осуществлять меры ПВО. Если еще можно говорить об установлении прочных размеров отдельных типов оборонительных построек опытным путем (полицейские стрельбы по типовым постройкам), то в условиях ПВО, благодаря разнообразию типов сооружений, определять сопротивление их опытным путем достаточно затруднительно. В отношении защитных построек умение рассчитывать прочные размеры также весьма полезно, особенно для условий войны, когда могут встретиться и более мощные сред-

ства поражения, а материал в особой комбинации, предоставляемой случаем (подручные материалы), а итти методически опытным путем не будет времени.

Подходя к расчету прочных размеров защитных построек, вполне естественно стремление использовать обычные методы статики сооружения, применяемые для расчета гражданских инженерных сооружений. Это заставляет представить действие огневых средств поражения в виде некоторых расчетных нагрузок, заменяющих динамическое действие удара и взрыва.

Таким образом первым вопросом, требующим разрешение, является установление статической нагрузки эквивалентной действию снаряда или аэробомбы.

Оставляем в настоящее время открытым вопрос теоретического обоснования возможности вообще подобной замены, отметим только что во многих областях техники, связанных с динамическими нагрузками идут работы по приведению их к статическим (напр. изучение одежды дорожного полотна и т.п.).

В этой области имеется целый ряд теоретических предложений, особенно много их появилось у нас за последнее время. По своему характеру расчетные внешние нагрузки эквивалентные динамическому импульсу удара и взрыва можно разбить на три группы: 1) нагрузки равномерно-распределенные, 2) сосредоточенные нагрузки и 3) нагрузки, занимающие промежуточное положение.

Рассмотрим эти предложения по группам, придерживаясь хронологического порядка.

Равномерно-распределенная расчетная нагрузка.

Одной из первых попыток расчета является предложение Moritz Воск майора инженерного штаба, помещенное в журнале *Mitteilungen über Gegenstände des Artillerie und Geniewesens* №3 от 1893. Этот же расчет великом приводит Leithner в своем труде ¹⁾. В основу х) Выноса на стр.93.

этого расчета взято предположение, что двутавровые балки несущего осяз должны воспрепятствовать обрушению вниз бетонной массы (см. черт. 40 заштрих. площадь), а поэтому они должны оказать соответствующую работу сопротивления. Чтобы целостность балок не нарушалась, не должны быть превзойдены упругие прогибы.

Своеобразность построения расчета представляет достаточный интерес, а поэтому мы его приводим полностью, взяв его из труда Leithner'a.

Учитывая удар снаряда с вертикальной составляющей скорости, равной v в покрытие, можно написать

$$(M+m)v = mv,$$

где m - масса снаряда = $\frac{g}{g}$ и M - масса бетонного покрытия; если обозначим через C кубатуру покрытия и через γ вес 1 куб. метр., то $M = \frac{\gamma C}{g}$. Масса снаряда в сравнении с массой покрытия весьма незначительна, т.е. ее можно пренебречь и написать

$$Mv = mv = \frac{P}{g}v.$$

Здесь v скорость, приобретенная покрытием, через нее покрытие приобретает живую силу $\frac{Mv^2}{2}$ и в состоянии произвести такой же величины работу A , т.е. можно написать:

$$A = \frac{Mv^2}{2} = \frac{Mv}{2}v = \frac{gv}{2g} \cdot \frac{gv}{gM},$$

но так как

$$gM = g \frac{\gamma C}{g} = \gamma C, \quad \text{то}$$

$$A = \frac{gv^2}{2g} \cdot \frac{g}{\gamma C}.$$

Первый член в этом выражении $\frac{gv^2}{2g} = \frac{mv^2}{2}$ есть живая сила снаряда, т.е. энергия снаряда в момент удара. Обозначим ее через E' , тогда

$$A = \frac{E'g}{\gamma C}. \quad (a)$$

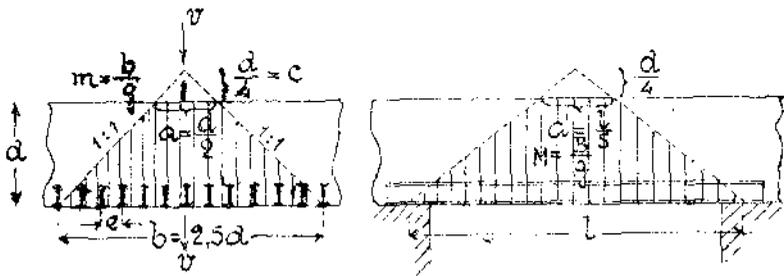
Выражение γC означает вес бетонного покрытия, но совместно с двутавровыми балками, чтобы это учесть можно γ

x) Leithner. Die Beständige Befestigung und Festungsbau. 1894г. стр. 33 II часть.

взять несколько больше, например, вместо 2400 кгр/м.³ взять $\gamma = 2.450$ кгр.

Объем бетонной массы, получающей стремление обрушиться под действием удара снаряда может быть определен только предположительно.

Устанавливаются следующие положения (черт.40):
(Левая фигура): $a = \frac{d}{2}$ (от 40 - 100 сант.) ширина, измеряемая на дневной поверхности, воспринимающая удар, вниз он распространяется под 45° , так что $b = a + 2d = 2,5d$, отсюда же ясно, что $a = \frac{b}{5}$ и $c = \frac{d}{4}$.



Черт.40.

(Правая фигура) берется попадание в середину пролета и действие считается распространившимся по всей длине пролета, так как $c = \frac{d}{4}$ то $a' = \frac{l}{5}$.

На основе этого может быть определен объем C , представляющий собой усеченную пирамиду с высотой d основанием $bl = 2,5dl$ и верхней площадью $aa' = \frac{b \cdot l}{5} = \frac{d \cdot l}{2} \cdot \frac{l}{5} = \frac{dl}{10}$.

откуда $C = \frac{1}{3} [bl(c+d) - aa'c] = \frac{31}{30} d^2 l = 1,033 d^2 l$

приблизительно

$$C = d^2 l$$

т.е. работа

$$A = \frac{E' S}{\gamma d^2 l}$$

Поскольку двуглавые балки должны удержать бетонную массу на месте, они должны оказать равновеликую работу сопротивления, при чем не должны быть превзойдены пре-

дела упругости.

Соответствующая же работа сопротивления может быть получена, если вместо пришедшей в движение, следовательно производящей давление бетонной массы, взять мгновенную, но спокойную равномерно-распределенную нагрузку Q , которая производит те же упругие прогибы, тогда можем написать

$$A = Q \frac{\delta}{2},$$

где Q в кгр., δ в метрах величина прогиба, чтобы работу A получить в кгр. метрах.

Мысленная нагрузка A распределяется на многие двутавровые балки и именно число их

$$n = \frac{b}{e} = \frac{2,5d}{e} = \frac{5d}{2e} \quad (\text{см. черт. 40})$$

Затем

$$Q \cdot \frac{100l}{s} = n \cdot S_1 \cdot \frac{2J}{h} \quad (M = R_w)$$

откуда

$$Q = \frac{s}{100} \cdot \frac{5d}{2e} \cdot S_1 \cdot \frac{2J}{h} \quad (b)$$

где $\frac{2J}{h}$ есть момент сопротивления поперечного сечения двутавровой балки, S_1 напряжение n в -расстояние между балками.

К получаемому напряжению S_1 в результате действия нагрузки Q , нужно добавить некоторое напряжение S_2 , получаемое от собственного веса покрытия; сумма

$S = S_1 + S_2$ должна быть однако меньше предела упругости, чтобы не появлялись остаточные деформации.

Поскольку, расположенные в середине (под местом удара) балки будут нагружены несколько сильнее, чем крайние, нельзя напряжение S допустить более, как 1400 кгр/см.² Таким образом.

$$S_2 = 1400 \cdot S_1$$

Приходящаяся на одну двутавровую балку спокойная нагрузка от собственного веса есть $\gamma l e d$, при чем γ опять берется равным 2450 кгр.

Исходя из этого можем написать

$$\gamma l e d \cdot \frac{100l}{8} = S_1 \frac{2J}{h} = (1400 - S_1) \frac{2J}{h}$$

Отсюда находим момент сопротивления поперечного сечения

$$\frac{2J}{h} = \frac{100}{8} \cdot \frac{\gamma l^2 e d}{1400 - S_1}$$

Подставляя это значение в выражение (б), получим для величины нагрузки Q следующее выражение

$$Q = \frac{S}{100} \cdot \frac{5d}{2e l} S_1 \frac{100}{8} \cdot \frac{\gamma l^2 e d}{1400 - S_1}$$

$$Q = \frac{5}{2} \gamma l d^2 \frac{S_1}{1400 - S_1}$$

Прогиб δ при равномерно распределенной нагрузке q на метр длины равен

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{q l^4}{EJ}$$

(E - модуль упругости, для железа E = 2.000.000 кгр/см.²), так как

$$\frac{q l^2}{8} = S_1 \frac{2J}{h}$$

можно δ переписать в виде

$$\delta = \frac{q l^2}{8J} \cdot \frac{5 l^2}{48E} = \frac{2S_1}{h} \cdot \frac{5 l^2}{48E} = \frac{10S_1}{48E} \cdot \frac{l}{h}$$

Соотношение между пролетом и высотой балок при подобии покрытий равно 15 - 18, для упрощения решения возьмем $\frac{l}{h} = 16$, как среднее значение, тогда

$$\delta = \frac{10 \cdot 16}{48} \cdot \frac{S_1}{E} l = \frac{10}{3} \cdot \frac{S_1}{E} l$$

$$\delta = \frac{10}{6000000} S_1 l = \frac{S_1 l}{600000} \quad (c)$$

Подставляя это значение δ и значение для Q из выражения (б) в равенстве $A = Q \frac{\delta}{2}$, то получим

$$A = Q \frac{\delta}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{5}{2} \gamma l d^2 \frac{S_1}{1400 - S_1} \cdot \frac{S_1 l}{600000}$$

$$A = \frac{5}{4} \cdot \frac{\gamma l^2 d^2}{600000} \cdot \frac{S_1^2}{1400 - S_1}$$

Подставляя вместо

$$\frac{E'G}{\gamma d^3 l} = \frac{5}{4} \cdot \frac{\gamma l^3 d^3}{600000} \cdot \frac{S_1^2}{1400 - S_1}$$

$$E'G(1400 - S_1) = \frac{5}{4} \cdot \frac{\gamma l^3 d^3}{600000} S_1^2$$

Здесь $\gamma = 2450$ т.е. $\gamma^2 = 6000.000$ и $\frac{\gamma^2}{600000} = 10$

$$E'G(1400 - S_1) = \frac{50}{4} l^3 d^3 S_1^2 \text{ и}$$

$$S_1^2 = \frac{2}{25} \frac{E'G}{l^3 d^3} (1400 - S_1) \quad (d)$$

Последнее выражение по отношению S_1 представляет собой квадратное уравнение где все величины известны

$$S_1^2 + \frac{2}{25} \frac{E'G}{l^3 d^3} S_1 = \frac{2}{25} \frac{E'G}{l^3 d^3} \cdot 1400 \quad \text{или}$$

$$S_1^2 + 2 \left(\frac{E'G}{25 l^3 d^3} \right) S_1 = \left(\frac{E'G}{25 l^3 d^3} \right) \cdot 2800$$

Обозначая для сокращения $\frac{E'G}{25 l^3 d^3}$ через f , то получим $S_1 + 2fS_1 = 2800f$ и решение получим следующее:

$$S_1 = -f + \sqrt{f^2 + 2800f} \quad \text{или}$$

$$S_1 = -f + \sqrt{f(f + 2800)}$$

в развернутом виде

$$S_1 = -\frac{E'G}{25 l^3 d^3} + \sqrt{\frac{E'G}{25 l^3 d^3} \left(\frac{E'G}{25 l^3 d^3} + 2800 \right)} \quad (e)$$

Найдено таким образом S_1 , то получаем $S_2 = 1400 - S_1$, и можно теперь из равенства

$$\frac{23}{h} = \frac{100}{8} \frac{\gamma l^2 e d}{1400 - S_1}$$

найти момент сопротивления сечения, т.е. требуемый тип двутавровой балки. Для расстояния e между осями балок особых правил нет, можно поэтому величину e выбирать так, чтобы полнее использовать сечение балок - только с некоторым ограничением чтобы не было взято много больше 0,40 метров.

Получилось бы случайно S_2 существенно больше 1000,

то нужно брать $S_2 = 1000$ и на основе этого определять сечение балки.

С другой стороны S_2 не должно быть слишком малым, так как тогда не будет полностью использована мощность балок; за то опять некоторые балки (непосредственно под местом попадания), у которых напряжение от удара будет всегда несколько больше среднего значения S_1 , могут получить слишком большие суммарные напряжения.

ПРИМЕР. Расчет на действие 21 см. экразитной бомбы с $E' = 176,4$ тм, $g = 154$ кр., покрытие $d = 1,8$ мтр. и $l = 5,00$ мтр.

Определяется величина

$$f = \frac{E'g}{25l^2d^4} = \frac{176.400 \times 154}{25 \times 5^2 \cdot 1,80^4} = 828$$

откуда $S_1 = 828 + 828 + 3628 = 905$ и далее

$$S_2 = 1400 - 905 = 495$$

Теперь определяют величину

$$\frac{2J}{h} = \frac{100}{8} \cdot \frac{\gamma l^2 e d}{S_2} = \frac{100}{8} \cdot \frac{2450 \times 25 \times 1,8}{495} e = 2783 e, \text{ чему}$$

отвечают:

а) двутавровые балки №35 при $e = \frac{1112}{2783} = 0,40$ метра.

б) " " №32 " $e = \frac{866,5}{2783} = 0,31$ метра.

в) " " №30 $e = \frac{725}{2783} = 0,25$ "

Не разбирая этот устаревший расчет, приведенный нами с целью представления наиболее полно вопроса расчета прочных размеров покрытия, отметим, что сложность вывода во многом зависит от низкого еще уровня теории расчетов железобетонных конструкций.

Расчет этот не может быть полностью отнесен к I группе, но он здесь приводится, как служащий основанием для расчета предложенного Prochaska X), к каковому те-

X) Mitteilungen über Gegenstände der Artillerie und Geniewesens 1907 г. Heft 8 и 9 стр. 30 и s.w.

перь и переходим. Прохаска прежде всего продолжает анализ выражения, приведенного Воксом $A = \frac{E'g}{\gamma c}$ переписав его в виде $A = E' \frac{b}{B}$ показывающее, что механическая работа A , сообразная снарядом поражаемому телу при неизменной конечной живой силе E' пропорциональна отношению веса снаряда b к весу поражаемого тела B , т.е. что важно снаряду противопоставить возможно большую массу бетона.

Прохаска на основе этого делает еще следующие выводы:

1) Сравнивая действие по одному и тому же покрытию двух различных снарядов весом b_1 и b_2 получим

$$A_1 = E'_1 \frac{b_1}{B} \quad \text{и} \quad A_2 = E'_2 \frac{b_2}{B} \quad \text{откуда находим}$$

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{E'_1 b_1}{E'_2 b_2}$$

Это отношение показывает, что разрушительные эффекты, вызываемые в одном и том же покрытии двумя различными снарядами, относятся между собой, как произведение из весов снарядов на их конечные энергии (вертикальные составляющие).

2) Если же напротив будем действовать одним и тем же снарядом по покрытиям различной толщины, то получим

$$A_1 = E' \frac{b}{B_1} \quad \text{и} \quad A_2 = E' \frac{b}{B_2} \quad \text{откуда}$$

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{B_2}{B_1}$$

Подставляя вместо B его значение, как это приведено у Leithner'a (см. черт. 40) B это есть вес объема бетонной массы, приведенной в движение действием снаряда.

Обозначая через γ вес 1 куб. метра армированного бетона и учитывая, что вышеупомянутый объем представляет собой усеченную пирамиду с высотой d , основанием

$bl = 2,5 dl$ и верхней площадью $\frac{d}{2} \cdot \frac{l}{5} = \frac{dl}{10}$ т.е. может быть определен из выражения

$$c = \frac{1}{3} \left[2,5 dl \left(d + \frac{d}{4} \right) - \frac{dl}{10} \cdot \frac{d}{4} \right] = \frac{124}{120} d^2 l \approx d^2 l$$

получим, что $B = \gamma d^2 l$.

Принимая, что оба покрытия имеют один и тот же пролет, получим

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2}$$

Это отношение показывает, что действия, вызываемые одним и тем же снарядом при совершенно одинаковых условиях, в покрытиях различной толщины, обратно пропорциональны квадратам толщины этих покрытий.

3) Известно, что механическая работа изменяется пропорционально моменту внешних сил, т.е.

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{M_1}{M_2} \quad \text{но} \quad M_1 = \frac{q_1 l^2}{\gamma} \quad \text{и} \quad M_2 = \frac{q_2 l^2}{\gamma}$$

откуда

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{q_1}{q_2}$$

Учитывая вышеприведенные соотношения можно написать

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{q_1}{q_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2}$$

откуда легко вывести, что

$$q_2 = q_1 \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2$$

Последнее выражение позволяет легко определять нагрузку заменяющую действие снаряда для различной мощности конструкций.

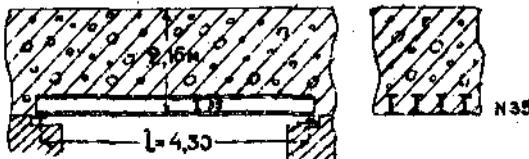
Окажется, например, что покрытие толщиной 2,16 мтр. под действием некоего снаряда испытывает нагрузку в q_0 кгр/м², то от этого же снаряда покрытие толщиной 1,8 метра будет нагружено в размере

$$q_2 = \left(\frac{216}{180} \right)^2 q_0 = 1,4 q_0$$

Таким образом действие снаряда против только на 16% более слабого покрытия сказывается нагрузкой увеличившейся на 40%.

Весьма ясный и логический вывод. При этом нужно отметить, что действие взрыва укладывается в выше приведенные выражения, так как оно схоже с ударом, понимая под конечной энергией не только живую силу удара, но и энергию взрыва, т.о. ΣE .

Затем *Pochazna* подходит к определению нагрузки q , исходя из сопротивления определяемого типа покрытия, а именно имеющего бетонную толщину обеспечивающую от того или иного снаряда и определенный пролет. Приводим расчет этой нагрузки для снаряда калибром в 24 см. (вес 133 кгр., заряд В.В. - 20 кгр.). Покрытие против этого снаряда имеет следующую конструкцию (черт 41).



Черт. 41.

Расчет производится при двух предположениях: 1) двутавровые балки не связаны с бетоном (бетон + железо) и 2) между обоими материалами имеется связь (железо бетон).

Предположение 1-ое. Двутавровая балка №35, свободно лежащая на двух опорах при пролете в 4,5 метра и допускаемом напряжении в 1000 кгр/см.² может нести нагрузку T в 19,41 тонн.

Здесь работа бетона совершенно не учитывается

Учитывая отстояние балки от балки на 0,35 м., определим, что нагрузка на 1 кв. метр покрытия может быть равна

$$q = \frac{T}{0,35e} \cdot \frac{19410}{0,35 \times 4,50} = 12300 \text{ кгр.}, \text{ из кото-}$$

рой около 6000 кгр. приходится на собственный вес конструкции. Таким образом при полном использовании двутавровых балок они могут взять дополнительную нагрузку в 6300 кгр.

Предположение 2-ое (черт. 42). В основу положены

Снаряд			Дальность стрельбы в метрах.	Угол падения.	Конечная энергия верт. состав. в тонметр.	Идеальная расчетная нагрузка в кгр/м.	Бетонная толща в сантиметрах, для которой исчислена нагрузка для	
Калибр.	Вес.	Заряд.					горизонтальных покрытий и наруж. стены.	Свод
	в кгр.							
28см.	240	40	2200	17°	680	94400	216	240
21см.	163,7	30						
24см.	133	20	4400	63°	260	20000	100	110
15см.	38,75	7,4	-	-	73	8000		

Для покрытий с меньшими пролетами рекомендует Prochaska, ожидая большего эффекта, увеличить расчетную нагрузку примерно на 30-50%.

Этот метод расчета является примером "обратного метода", т.е. определения нагрузки, исходя из сопротивляемости покрытия, задаваясь расчетными напряжениями. Это обстоятельство резко подчеркивает, что при этом не учитывается своеобразие действия снаряда (ближе взрыв - больше прогиб и т.д.), местные разрушения вовсе не принимаются во внимание, правда, последнее является довольно общим явлением, например, Биршле,^{х)} который отмечает, что в зоне сжатия никогда не будут превышены допускаемые напряжения, а потому изъятие некоторого количества материала мало скажется на прочности покрытия.

Касаясь нагрузок данных Prochaska нужно отметить, что они выведены на основе весьма малых расчетных напряжений, что заставляет предполагать значительное расхождение с действительностью.

х) Revue de Genie Militaire УШ-IX-1929 г.

Попутно здесь интересно отметить, что *Misch* в своей статье^{х)} касается вышеупомянутого расчета, рассматривая вообще применимость статических добавочных нагрузок. Он определяет стрелу прогиба при действии равномерно распределенной нагрузки q кгр/м², и действия импульса b .

В одном случае

$$d = \frac{5ql^4}{384EJ}$$

а в другом

$$d = \frac{6l}{2\pi\sqrt{EJ\mu}}$$

откуда, приравнявая эти величины, получим следующее выражение для эквивалентной нагрузки

$$q = 12,2 \frac{6}{l^3} \sqrt{\frac{EJ}{\mu}}$$

Рассмотрение ее дает, что как бы не поступали при вычислении равномерно-распределенной добавочной нагрузки, ясно, что они могут быть правильными при соблюдении таких условий: 1) иметь особый определенный вид опор, 2) определенной величиной пролет и 3) для заранее известной балки но никогда не приложимы в общих случаях.

Проф. Коханов, как один из подходов к расчету предлагает так же заменить удар и взрыв равномерно-распределенной нагрузкой, получаемой увеличением собственного веса покрытия, введением коэффициентов на динамичность разных Z , когда промежуточный слой такой толщины, что включает в себе противооткольную сферу и 4, когда промежуточный слой тонек. Введением эквивалентной равномерно распределенной нагрузки пользовались и немцы до мировой войны для расчета покрытий (поддерживающих частей), при чем для наиболее мощных снарядов эта нагрузка бралась в размере 7000кг/м². площадь покры-

х) Der feste Stoss und spreng stoss gegen den frei aufliegenden Balken. Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik. 1925. Band 5,

х)
тия.

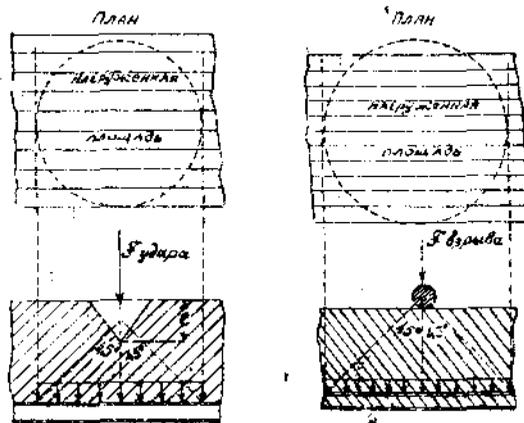
Есть предложения, определяющие эквивалентную удару и взрыву нагрузку на поддерживающий слой в виде сосредоточенной нагрузки.

Еще до мировой войны проф. Буйницкий наметил следующий путь расчета. Первоначально, зная из опыта, что каждый кгг. взрывчатого вещества (данные Ржика) при взрыве на защитной поверхности дает 15-12 тоннометров работы разрушения и зная весовое содержание В.В. в снарядах, определялась вся механическая работа взрыва, которая сравнивалась с живой силой удара снарядов. Это сравнение позволило (в отношении артснарядов, процентное содержание В.В., в которых значительно менее такового же в аэробомбах) высказать положение, что практически при взрывателях с замедлением ударное действие = фугасному. Имея напр. возможность определить нагрузку от ударного действия, можно, пользуясь высказанным положением, найти общее усилие, что и дает искомую сосредоточенную нагрузку. От ударного же действия нагрузку легко можно определить, опираясь на закон количества движения $mv - mv_0 = Ft$, где m масса снаряда $\frac{P}{g}$ (вес на ускорение), v - скорость в момент попадания в покрытие, v_0 - скорость снаряда в момент взрыва, можно ее принять равной 0, т.е. что вся поступательная скорость поглощена сопротивлением покрытия, F - сосредоточенная нагрузка от удара, действующая в течении промежутка времени зависящего от чувствительности взрывателя, величины замедления (0,05 - 0,20 сек.). Получаем, что $mv = Ft$ или $\frac{P}{g}v = Ft$, откуда $F = \frac{Pv}{gt}$, а суммарная нагрузка от действия удара и взрыва выразится примерно величиной $2F$. Благодаря толщине покрытий эта

х) Современное состояние долговременной и временной фортификация Н.Буйницкий, Ф.Голенкин, В.Яковлев. 1913г. стр.348-351.

сила распределяется не некоторую площадь поддерживающего слоя. х)

В настоящее время имеется аналогичный в отношении ударного действия вышеприведенному расчет эквивалентных нагрузок от действия взрыва бомбы днж. Волковского хх), который условно уточняет точку приложения сосредоточенной силы от удара, считая ее в "центре удара" (по середине глубины воронки от удара) и распределение ее на поддерживающий слой (черт.43) и прибавляет нижеследующий



Черт.43

расчет нагрузки замкнутой удар газов при взрыве.

Расчет предваряется допущениями: 1) удар газов направлен вниз под углом 45° от вертикали, т.е. приходится на 1/7 часть всей шаровой поверхности и 2) удар газов есть удар молекул взрывчатого вещества, которые вылетают из центра взрыва со скоростью, определяемой из уравнения живых сил и проникает в бетон до дна воронки, теряя здесь всю свою скорость.

При этом принимается, что механическая энергия (потенциальная) газов разрывного заряда равна 340.000 кгр. метров на 1 кгр. В.В. Тогда имеем $\frac{1 \cdot v^2}{9,81 \times 2} = 340.000 \text{ кгр.}$ и $v = 2600 \text{ мет/сек.}$

х) Современное состояние долговременной и временной фортификация. Н. Буйницкий, Ф. Голенкин, В. Яковлев. 1913г. стр. 348-361.

хх) Строительная промышленность №12 за 1926 г.

Для определения средней силы удара газов, передающейся покрытию, использован закон количества движения ($mv = ft$), при чем время t приближенно взято - 0,04 сек., v - определено выше, $m = \frac{P}{g}$, где P в данном случае вес взрывчатого вещества в аэробомбе или снаряде. Тогда для нижней 1/7 части поверхности шара, на которую распределяется действие взрыва, можно написать следующее: $mv = ft$.

$$\frac{P}{g} \cdot \frac{1}{7} \times 2600 = f \times 0,04, \quad \text{откуда} \quad f = \frac{P \times 2600}{g \times 7 \times 0,04} \quad \text{кгр.}$$

затем эта сосредоточенная нагрузка распределяется на поддерживающий слой (черт. 43).

Для определения полной динамической нагрузки в целях получения запаса прочности складывается нагрузка от удара и взрыва.

Рассмотрим теперь критически этот расчет. Начинаем с ударного действия. Если величина количества движения mv не вызывает сомнений, то величина импульса ft имеет некоторые возражения во первых, усилие f падает не по закону прямой, поэтому беря в расчет среднее усилие за время t , мы уменьшаем расчетную нагрузку, затем продолжительность действия удара не всегда есть продолжительность замедления, этот вопрос должен быть еще изучен, например, при падении трупов с небольшой высоты продолжительность удара определялась проф. Давиденковым в 0,002 сек., а уменьшение продолжительности удара вполне очевидно увеличит расчетное усилие f . Точка приложения этого усилия выбрана условно (почему не в центре тяжести).

В отношении нагрузки, заменяющей давление от взрыва можно привести более категоричные возражения. Не касаясь вывода скорости удара молекул В.В. отметим, что подобного характера рассуждение можно найти в Бихеда ^{x)}, а именно что удар газов можно определить ^{x)} Расчет открыто расположенных зарядов. Ренненкамер.

из формулы:

Сила удара = $\frac{mv^2}{2}$, где m - вес взрывчатого вещества, деленный на ускорение (9,81), а v - скорость детонации (порядка 2000 - 9000 м/сек).

Учитывая это значение скорости детонации, при составлении количества движения mv , идя этим путем нужно брать скорость детонации, которая для применяемых в снарядах В.В. не менее 6000 метр/сек., т.е. величина mv в расчете должна быть увеличена в отношении $\frac{6000}{2600}$, т.е. в 2,3 раза. Рассмотрим теперь вторую половину исходного расчетного выражения $mv = ft$. Величина усилия f опять, как и при ударном действии сильно зависит от продолжительности действия, в данном случае взрыва. Давно известно, что продолжительность взрыва зависит от скорости детонации и размеров заряда, обычно она имеет величину порядка тысячных долей секунды (например 0,004 сек. т.е. в 10 раз быстротечнее, чем это взято в расчете тов. Бейлинского. Таким образом определяя $f = \frac{mv}{t}$ и установив, что mv нужно увеличить в 2,3 раза, а t - в 10 раз уменьшить, получим, что расчетное усилие должно быть в 2,3 раза больше, чем оно получается у автора предложения.

Отмечаемое во всех предложениях несоответствие построения расчета фактическому процессу действия снаряда наблюдается и здесь. Так расчет нагрузки от взрыва ведется при положении снаряда на верхней поверхности покрытия, тогда как оно должно быть на дне воронки от удара. Расчетная окончательная нагрузка берется, как сумма нагрузки от удара и взрыва, чтобы получить запас прочности, но это противоречит факту, так как эти нагрузки прикладываются не в одно время, затем запаса прочности все равно не получается, что очевидно из отмеченных выше неправомерностей.

Дабы не быть голословным в части суждения о продол-

хительности действия удара снарядов, произведем здесь расчет времени углубления используя формулу приведенную Забудским

$$T = \frac{C}{\lambda A' \sqrt{b}} \operatorname{arctg}(v\sqrt{b}),$$

где T - время полного углубления в сек.

$$C = \frac{P}{(2R)^2} \cdot \frac{I}{1000} = \frac{P}{d^2 1000} \quad (P - \text{вес, снаряда в кгр.} \\ d - \text{диаметр снаряда в метр}).$$

λ - коэффициент, зависящий от формы = 1,5

$$A' = \frac{\pi g A}{4000}$$

A и b коэффициенты, зависящие от свойств среды, величина этих коэффициентов приведена проф. Забудским в таблице на стр. 400 своего труда.

v - скорость снаряда в момент встречи с преградой.

За расчетный снаряд возьмем снаряд 152 мм. гауб.

$P \cong 40$ кгр., $v = 300$ метр/сек. $A \cong 6000000$

$$b = \frac{15}{10^6}$$

$$\text{Тогда } A' = \frac{\pi g A}{4000} = \frac{3,14 \cdot 9,81 \cdot 6000000}{4000} = 45000$$

$$C = \frac{P}{d^2 1000} = \frac{40}{0,15^2 \cdot 1000} = 1,78$$

$$\operatorname{arctg}(v\sqrt{b}) = \operatorname{arctg}\left(300\sqrt{\frac{15}{10^6}}\right) = \operatorname{arctg} 1,16 = \frac{\pi \cdot 49}{180}$$

х) Забудский. Внешняя баллистика 1895 г. стр. 397

$$T = \frac{C}{\lambda A \sqrt{b}} \arctg (v \sqrt{b}) = \frac{1,78}{1,5 \cdot 45000 \frac{15}{1000}} \cdot 0,95 = 0,0058 \text{ сек.}$$

По мнению Бирша^{x)} длительность проникания тоже порядка 0,01 секунды. Таким образом представляется возможным утверждать, что величина t при определении ударного импульса должна быть не более 0,01 секунды.

Имея все вышерассмотренные справочные данные дадим по этому методу расчетные формулы; тогда нагрузка от удара должна определяться по формуле

$$f = \frac{Pv}{gt} = \frac{Pv}{9,81 \cdot 0,01}$$

Нагрузка заменяющая давление взрыва должна определяться по формуле

$$f = \frac{Cv}{gt} = \frac{C \cdot 6000}{9 \cdot 0,0047}$$

Эти формулы интересны для определения порядка величин этих нагрузок; но сам по себе этот метод сохраняет некоторые свои недостатки: неучет местных деформаций, потребной энергии для этого, отсутствие влияния среды, в которой происходит взрыв, отсутствие влияния конструкции (напр. пролета) и т.п.

Расчет весьма близкий по своему построению к предложенному проф. Буйницким мы находим в статье Эббе^{xx)} Буден "Действие снарядов по бетону и железо-бетону."

Исходной данной для определения сил изгибающих покрытие вследствие удара снаряда является формула, дающая величину статической силы, в которую превращается энергия удара при центральном ударе, а именно

x) Note sur les conditions de résistance du beton de ciment dans les ouvrages de fortification. Revue de Genie Militaire VIII-IX 1929г.

xx) Tidskrift i fortifikation 1924г. 3 и 4 Н.

$$p = k \sqrt{\frac{120EJh}{QS^3}}$$

где

p - изгиб. усилие в кгр.

k - вес снаряда в кгр.

E - модуль упругости в кгр/см.²

J - момент инерции в см.⁴

h - высота падения груза = $\frac{v^2}{2g}$

Q - вес покрытия, воспринимающего удар в кгр.

S - пролет в см.

При этом вес снаряда принимается малым по сравнению с весом покрытия (плиты).

Вывод этой формулы приведен в Известиях Шведской Инженерной Академии за 1921г. №2^x в следующем виде.

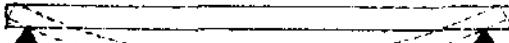
Рассматривается удар на балку (плиту) свободно лежащую на двух опорах, с точкой приложения удара по середине пролета.

Балка под действием такого удара будет изгибаться, однако а priori нельзя сказать каков будет характер упругой линии изгиба. Произведенные опытные измерения (черт. 44) показывают, что если скорость падения ударяющего тела сравнительно мала, то балка изгибается почти по тем же линиям, как и от приложения статической нагрузки, т.е. согласно чертежу 44. Если наоборот скорость падения велика, то часто в точке удара возникает местная деформация, а затем более местное выгибание балки при первой фазе удара, которое постепенно при протекании всего явления удара выравнивается (черт. 45).

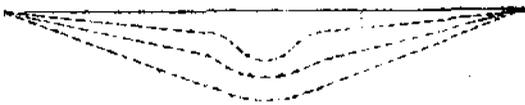
Так как удар поражает середину балки, то протекает некоторый промежуток времени, пока его действие распространится до опор, по причине этого сумма реакций

^x) Ingeniörs Vetenskapsakademien. 1921. Handlingar №2.

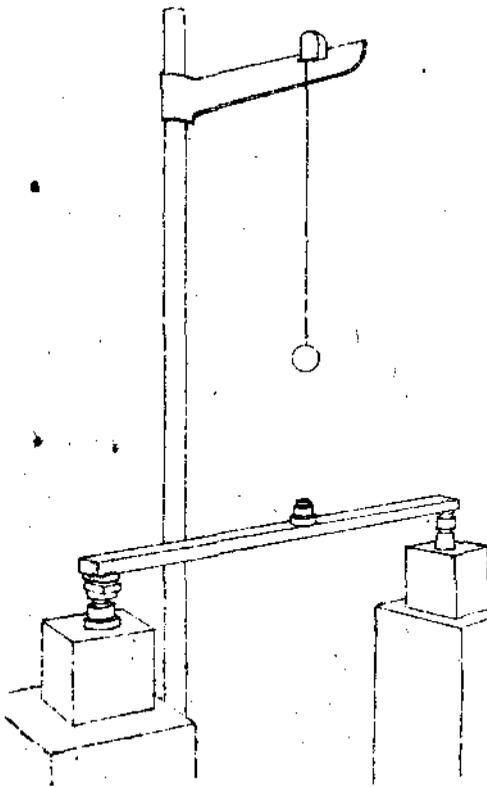
в каждый данный момент не равна силе удара в середине.



Черт. 44.



Черт 45



Черт. 46.

Этот вопрос связан с распространением колебательных движений и еще недостаточно изучен.

Примем, что некоторый груз K кгр. падает с высоты h см. на середину свободно лежащей на двух опорах балки с пролетом S , весом Q кг.

q кгр. на единицу длины, т.е. $Q = qS$. Момент инерции J принимается постоянным и модуль упругости E .

Скорость в момент удара V , когда груз K падает на балку, будет $\sqrt{2gh}$.

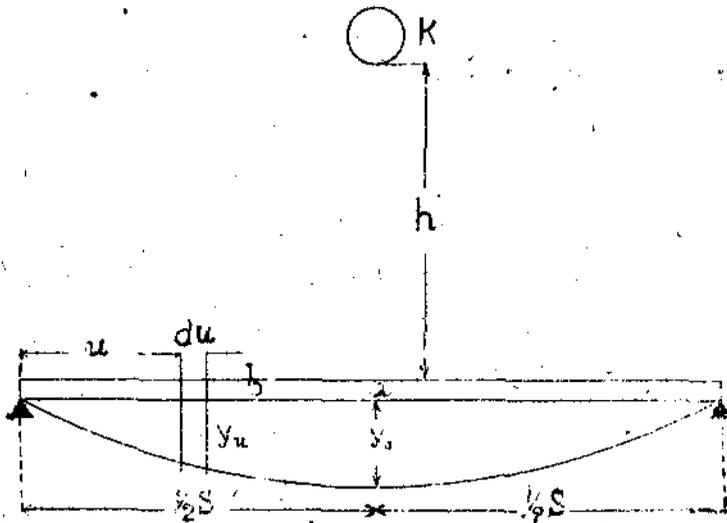
Здесь нужно вспомнить, что в некоторых случаях, например, если снаряд ударяет в бетонную поверхность, получатся значительные местные деформации /зоронки/, вызывающие большие потери силы удара, что будет ниже отмечено и количественно. Сейчас же для дальнейших рассуждений примем допущение, что падающее тело

не подвергается никаким заметным изменениям формы при ударе о балку, а также сама балка не разбивается в месте удара и не подвергается заметной местной деформации в точке удара. Также принимается в качестве условия, что возникающие от удара напряжения изгиба не превосходят предела упругости.

Так как скорость падающего тела непосредственно в момент предшествующий удару равна v и ни одна из частиц балки еще не пришла в движение, то количество движения будет

$$Q_1 = \frac{K}{g} v \quad (x)$$

Непосредственно после удара принимается, что точка встречи A и груз K имеют общую скорость v_0 (черт.47).



Черт.47.

Опорные точки балки принимаются во все время протекания процесса удара за абсолютно неподвижные и поэтому скорость их равна 0.

Некоторая точка балки b , лежащая на расстоянии u от опоры должна получить некоторую начальную скорость лежащую в пределах от 0 до v_0 и обозначим ее через v_u .

х) Сохраняю обозначения переименовщика.

Можно без сколько нибудь значительной ошибки, по крайней мере, если скорость при ударе не особенно велика, принимать, что скорости v_0 и v_u пропорциональны прогибам y_0 и y_u , которые балка получает в точках a и b при статическом действии какой либо силы в середине балки в т. a

Эта пропорциональность между скоростями и прогибами может быть изображена так:

$$v_0 : v_u = y_0 : y_u \quad \text{или} \quad v_u = \frac{y_u}{y_0} v_0$$

некоторый элемент балки, обозначаемый $q du$, лежащий на расстоянии u от опоры, получает следовательно непосредственно после удара направленное вниз движение с начальной скоростью v_u .

Количество движения перед ударом есть

$$\rho_1 = \frac{K}{g} v_0$$

Количество движения ρ_2 немедленно после удара будет

$$\rho_2 = \frac{K}{g} v_0 + \int \frac{q du}{g} v_u$$

Подставляя вместо v_u его значение, то получим

$$\rho_2 = \frac{K}{g} v_0 + \int \frac{q du}{g} \cdot \frac{y_u}{y_0} v_0$$

Если принимается, что удар протекает мгновенно, то количество движения перед ударом и после него будет одинаково ($\rho_1 = \rho_2$) или

$$\frac{K}{g} v_0 = \frac{K}{g} v_0 + \int \frac{q}{g} \cdot \frac{y_u}{y_0} v_0 du$$

откуда

$$v_0 = \frac{K v_0}{K + \int q \frac{y_u}{y_0} du};$$

это выражение может быть представлено в следующем виде:

$$v_0 = \frac{v_0}{1 + \int \frac{q}{K} \frac{y_u}{y_0} du}$$

На основании сопротивления балки будет уменьшаться скорость v_0 падающего тела K , как равно и скорость v_u элемента $q du$ и принимается, что оба, тело и элемент достигают одновременно скорости 0, что обозначает конец

изгиба балки, т.е. когда она достигнет своего наибольшего прогиба.

Живая сила L у тела K и балки Q непосредственно после удара получится из выражения

$$L = \frac{1}{2} \cdot \frac{K}{g} v^2 + \int \frac{1}{2} \cdot \frac{q du}{g} v_u^2$$

или, если внести в него значение v_u , то

$$L = \frac{v_0^2}{2g} \left[K + \int q \left(\frac{y_u}{y_0} \right)^2 du \right].$$

В это выражение для живой силы вводим значение v , определенного выше, тогда

$$L = \frac{v^2}{2g} \frac{K + \int q \left(\frac{y_u}{y_0} \right)^2 du}{\left[1 + \int \frac{q}{K} \cdot \frac{y_u}{y_0} du \right]^2}$$

так как $\frac{v^2}{2g} = h$, то

$$L = \frac{1 + \int \frac{q}{K} \left(\frac{y_u}{y_0} \right)^2 du}{\left[1 + \int \frac{q}{K} \cdot \frac{y_u}{y_0} du \right]^2} K h.$$

Теперь остается выразить живую силу через известные величины, а именно пролет S , момент инерции J и модуль упругости E . Если подобная балка нагружена статической нагрузкой K по середине пролета, то прогиб будет равен

$$y_0 = \frac{KS^3}{48EJ}$$

а прогиб y_u в точке, расположенной на расстоянии u от опоры получится из выражения

$$y_u = \frac{KS^3}{16EJ} \left(\frac{u}{S} - \frac{4}{3} \cdot \frac{u^3}{S^3} \right)$$

откуда

$$\frac{y_u}{y_0} = \frac{3us^2 - 4u^3}{S^3}.$$

Используем эти величины для вычисления L , тогда получим

$$L = \frac{1 + \int \frac{q}{K} \cdot \frac{(3us^2 - 4u^3)^2}{S^6} du}{\left[1 + \int \frac{q}{K} \cdot \frac{3us^2 - 4u^3}{S^3} du \right]^2} \cdot K h.$$

Интегрируя теперь по всей балке получим

$$L = \frac{1 + \frac{17}{35} \frac{Q}{K}}{\left(1 + \frac{5}{8} \frac{Q}{K}\right)^2} \cdot Kh.$$

Принимаем, что сила удара от груза K , падающего с высоты h , производит прогиб одинаковый с прогибом от спокойной нагрузки $= P$. Остается найти эту величину P .

Если y_0 есть прогиб от статической силы K , то прогиб от статической силы P должен быть равен $\frac{P}{K} y_0$.

Обозначая действительный прогиб от падения груза K с высоты h через y'_0 , можем написать на основании предыдущего

$$y'_0 = \frac{P}{K} y_0.$$

Тогда внешняя работа A_y перед ударом должна быть $K y'_0$ или $A_y = K y'_0 = P y_0$.

Внутренняя работа A_1 при изогнутой балке получается из выражения:

$$A_1 = \int \frac{M_u^2}{2EJ} du$$

при чем M_u обозначает изгибающий момент в сечении на расстоянии u от опоры.

Живая сила при начале работы должна, согласно законов механики быть равна разности между внутренней и внешней работой, т.е.

$$L = A_1 - A_y \quad \text{или}$$

$$L = \int \frac{M_u^2}{2EJ} du - P y_0.$$

между тем $M = \frac{1}{2} P u$ и таким образом

$$\begin{aligned} A_1 &= \int_0^3 \frac{M_u^2}{2EJ} du = \frac{1}{2EJ} \int_0^3 \left(\frac{1}{2} P u\right)^2 du = \\ &= \frac{1}{EJ} \int_0^3 \frac{P^2 u^2}{4} du = \frac{P^2 3^3}{96EJ}. \end{aligned}$$

Подставляя это значение для A_1 , в ранее полученное

$$y_0 = \frac{KS^3}{48EJ} \quad \text{то получим}$$

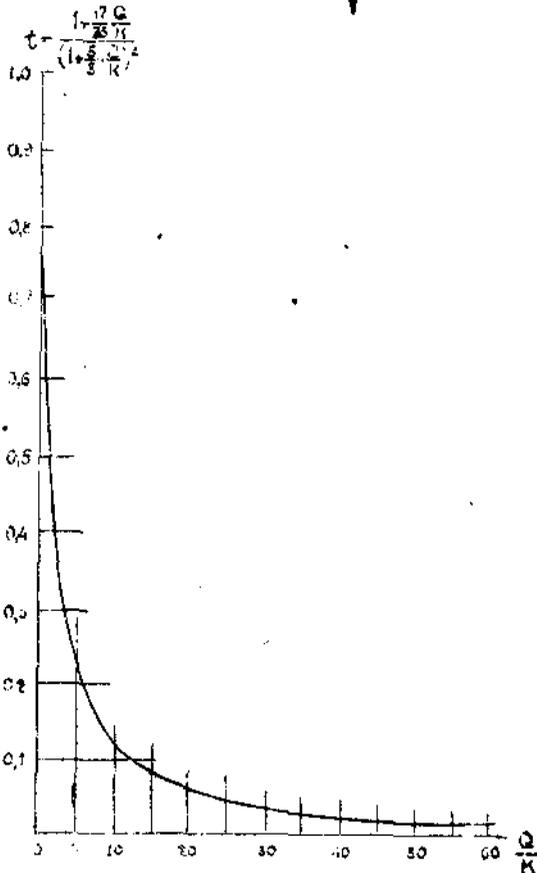
$$L = \frac{P^2 S^3}{96EJ} - \frac{PKS^3}{48EJ} \quad \text{или} \quad P^2 - 2PK = \frac{96EJ}{S^3} L.$$

Отсюда определяется

$$P = K + \sqrt{K^2 + \frac{96EJ}{S^3} L}.$$

Подставляя в это значение для P вместо L ее величину, определенную ранее, можно преобразовать полученное выражение в следующее

$$P = K + \sqrt{K^2 + \frac{96EJ}{S^3} \cdot \frac{1 + \frac{17}{35} \frac{Q}{K}}{\left[1 + \frac{5}{8} \frac{Q}{K}\right]^2} \cdot Kh}.$$



Черт. 48.

Обозначим для упрощения формулы

$$\frac{1 + \frac{17}{35} \frac{Q}{K}}{\left[1 + \frac{5}{8} \frac{Q}{K}\right]^2}$$

через t тогда

$$P = K + \sqrt{K^2 + \frac{96EJtKh}{S^3}}.$$

В следующей

таблице величина t вычислена для различных значений $\frac{Q}{K}$, а на черт. 48 тоже представлена графически.

В таком виде вывод формулы дан Kleinger^{х)}

В этой формуле предусмотрено, что вся энергия в момент удара переходит в изгибающее усилие и таким образом пренебрегаются потери на местное разрушение, развитие теплоты и пр.

Непосредственные опыты показали, что изгибающее действие снаряда является лишь дробной частью всего его действия и эта часть уменьшается по мере увеличения скорости в момент встречи. Если через P_v обозначить изгибающее усилие, а через P общее усилие, заменяющее действие удара, то $P_v = \mu P$, при чем

$$\mu = \frac{10000}{2,5v} = \frac{4000}{v}, \text{ где } v \text{ в см.}$$

т.е. для	$v = 100$	метр/сек.	$\mu = 0,40$
"	$v = 150$	" "	$\mu = 0,27$
"	$v = 200$	" "	$\mu = 0,20$
"	$v = 250$	" "	$\mu = 0,16$
"	$v = 300$	" "	$\mu = 0,13$
"	$v = 350$	" "	$\mu = 0,115$
"	$v = 400$	" "	$\mu = 0,10$
"	$v = 450$	" "	$\mu = 0,09$
"	$v = 500$	" "	$\mu = 0,08$

Этот вывод имеет существенное значение, он показывает, что при современных скоростях у снарядов главное действие от удара выразится в местных повреждениях (воронках), а изгибающее действие от удара будет относительно не велико.

Умея определить статическую силу от удара, исходя из живой силы развиваемой при этом, действительно в этом не трудно убедиться, изменив несколько формулу, а именно:

$$P = K\sqrt{\frac{120EJh}{GS^3}} \quad \text{можно переписать, подстав}$$

х) Ingeniörs Vetenskaps Akademien 1921. Handlingar №2.

вив вместе $h - \frac{v^2}{2g}$, в следующем виде

$P = \sqrt{\frac{120EJK}{QS^3} \cdot \frac{Kv^2}{2g}}$ а $\frac{Kv^2}{2g}$ и есть живая сила удара $\left(\frac{mv^2}{2} \right)$, действие взрыва учитывают при помощи этой же формулы (в этом и сказывается подобие с расчетом проф. Буиницкого), прибавляя к энергии удара - энергию развиваемую взрывом, а именно потенциальную энергию В.В., так например, шведы берут, что 1 кгр. В.В. производит работу - 500 тоннометров.

Таким образом эта формула позволяет учесть общее разрушительное действие снарядов. Для бетонных построек ее можно еще несколько преобразовать, подставив вместо $g = 980$ سانت/сек. и $E = 300.000$ кгр./см², тогда форма примет следующий вид:

$$P = \mu \frac{135 \cdot K \cdot v}{S} \sqrt{\frac{J}{QS}} \quad (a)$$

Последовательность расчета представляется в следующем виде. Сперва подбираются исходные данные для заданного средства поражения: K, v и L (заряд), затем устанавливаются размеры покрытия, воспринимающего действие снаряда гремя размерами: пролетом S , толщиной H и шириной $4 H$.

Затем определяется живая сила удара $\frac{Kv^2}{2g}$ и потенциальная энергия В.В. Lb , где $b = 500$ тоннометров - потенц. энергия 1 кгр. В.В. Таким образом суммарная внешняя работа $A = \frac{Kv^2}{2g} + Lb$.

Эта величина подставляется в расчетную формулу

(а), которая преобразовывается в следующий вид:

$$P = \mu \frac{135}{S} \sqrt{\frac{JK^2v^2}{QS}} = \mu \frac{135}{S} \sqrt{\frac{JK2g}{QS} \cdot \frac{Kv^2}{2g}}$$

откуда

$$P_v = \mu \frac{135}{S} \sqrt{\frac{JK2gA}{QS}}$$

Значение μ берется в зависимости от скорости, с ко-

торой снаряд встречает покрытие. Несколько слов нужно сказать о выборе величины момента инерции J . Предполагая, что плиты не напряжены до предела и что усилие действует в продолжении короткого промежутка времени, то вероятно, что отношение между модулями упругости у бетона, подверженного сжатию и изгибу приблизительно равно. Поэтому для расчета усилия P_u как для простых плит, так и для жел.бетонных берется приближ. момента инерции $J = \frac{BH^3}{12}$.

Приведенный расчет бесспорно является существенным шагом вперед в части расчета ударного действия, но для расчета покрытия в целом против снарядов от встречает целый ряд замечаний.

1) Этот расчет также целиком исключает местные деформации.

2) Действие взрыва и удара происходят не одновременно, а последовательно одно за другим, правда здесь возможно наслаивание явления и появления резонанса, но количественно отметить эти факты пока еще нет данных.

3) Для расчета энергии взрыва взята потенциальная энергия В.В., тогда как известно, что полезная работа В.В. никогда этой величиной не достигает, а равняется при детонации приблизительно половине потенциальной энергии, а при взрывчатом горении прогрессивных веществ в огнестрельном оружии только $1/6 - 1/3$ потенциала. Как бы в компенсацию этому в формулу введен коэффициент μ для всей энергии, тогда как он был выведен только для удара, в этом месте имеется определенно произвольное допущение.

4) Модуль упругости для бетона взят величиной постоянной и определяющей давления, в то время как он сам зависит от величины давления.

5) Влияние интервала взрыва совершенно исключено из внимания, т.е. не учитывается фактическое положение снаряда перед взрывом, затем мало учитывается неравномерность

действия, максимальное под местом удара.

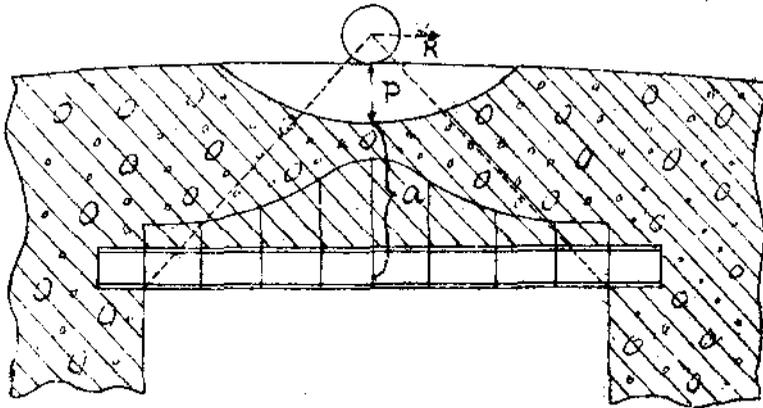
К третьему типу эквивалентных нагрузок можно отнести нагрузку определяемую по методу, предложенному военным инж. Залеским ^{х)}. В основу этого метода взято уже не раз приводившееся положение, что давления от взрыва падают обратно пропорционально квадратам расстояния от центра взрыва. Собственно расчетными формулами являются в большинстве случаев две (стр. 86). ^{х)}

1) Глубина воронки от удара газов

$$P_s = \frac{n_s}{n'_s} \{ \gamma \sqrt{C} - K \}.$$

2) Напряжение в любой точке (черт. 49)

$$n'_a = n'_s \left(\frac{K + P'}{K + P' + a} \right)^2, \quad \text{где,}$$



Черт. 49.

n_s и n'_s - временные сопротивления скатю старого и нового составов бетона в кг/см².

P_s и P' - глубины воронок в метрах.

C - вес заряда В.В. в кгр.

γ - коэффициент податливости среды взрыву.

х) Война и Техника. 1927 г. №6-7. Расчет полемых оборонительных жел.бет. конструкций.

K - расстояние центра взрыва от дневной поверхности зак.среды.

α - расстояния от дна воронки до точки, в которой определяется давление.

При помощи этого выражения можно построить эпюру нагрузок, а затем уже определить прочные размеры, принимая покрытие за балку свободно лежащую на двух опорах.

В таком виде данный расчет целиком исключает удар, но автор оговаривает, что это верно, начиная с 20 см. калибра, а ниже должно учитываться и ударное действие при определении глубины воронки, но положение снаряда для расчета берется постоянно на поверхности, что конечно не отвечает фактически происходящему явлению.

Таким образом этот расчет также не отвечает в полной мере требованиям, но повидимому ближе отвечает истине, только некоторые исходные данные сейчас ставятся под сомнение, а именно размер давления на дне воронки.

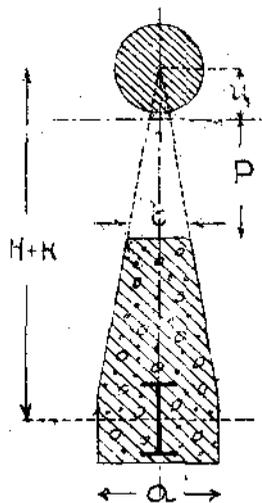
Последним по времени является второе предложение воина Белинского, которое мы встречаем в его статье "Определение статической нагрузки, эквивалентной удару взрывных газов", помещенной в журнале "Война и Техника" №1 за 1929 год. Задача, поставленная себе автором, не разрешает целиком вопроса о расчете покрытий, так как им исключено ударное действие, которым пренебречь нельзя. В отношении аэробомб такой случай может иметь место.

Выкладки, приведенные в статье сами по себе, могут вызвать целый ряд вопросов и замечаний, но отбросив даже все недоумения рассмотрим конечный результат. Предложенный расчет проводится в следующей последовательности:

1) по формуле $P = 0,142 \sqrt{C} - K$ определяется глубина воронки от фугасного действия аэробомб, диаметр воронки принимается равным $d = 5,5P$.

2) Для расчета выделяется в железобетонном покрытии

участок в виде железобетонной балки трапецевидного сечения, высота этой балки принимается, равной толщине покрытия, уменьшенной на глубину воронки, а ширина - нижняя 25-30 см. (в зависимости от предполагаемой арматуры), верхняя же уменьшается относительно нижней пропорционально их расстоянию от центра взрыва (черт.50).



Черт.50.

$$P_g = b \cdot 0,5 h \cdot 0,8 d \cdot 75 = 0,4 \cdot 75 b d = 30 b d.$$

Кроме этой треугольной нагрузки, расположенной по середине пролета, на протяжении $0,8 d$ надлежит ввести в расчет удвоенную равномерно-распределенную по всему пролету нагрузку от собственного веса; железобетонное покрытие надо считать жестко заделанным на опорах и соответственно этому расчетный пролет принимать равным пролету в свету, увеличенному на 5%.

4. Допускаемое напряжение в арматуре принять 2200 кгр/см², т.е. равным пределу упругости для литого железа.

Предлагаемый расчет отличается большой искусственностью и не отвечает действительно происходящим явлениям. Так например, давно известно, что величина давления от взрыва зависит от "интервала разрыва", чем он меньше, тем давление больше, при чем оно растет

3) За нагрузку, эквивалентную удару взрывных газов, принимается об'ем призмы, высота которой равняется верхней ширине расчетной балки, а поперечное сечение представляет треугольник с высотой, равной 75 кгр/см² и основанием, равным $0,8$ диаметра воронки, т.е.

быстро, учитывая закон обратной пропорциональности давлений квадратам расстояний. По предлагаемому расчету нагрузка равна $P = 30bd$, очень близкая к постоянной для одного и того же заряда, действительно $30 \text{ и } d_{const}$, а b при изменении интервала разрыва меняется не столь значительно.

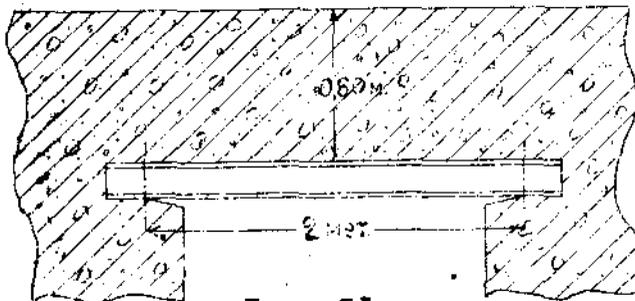
В общем виде изменение величины b можно представить следующим выражением (черт.50).

$$\frac{b}{a} = \frac{P+K}{H+K}$$

откуда $b = \frac{a(P+K)}{H+K}$ получилась зависимость обратно-пропорциональная, но в первой степени, т.е. нагрузка будет изменяться менее значительно. Затем давление должно зависеть от пролета, здесь уместно напомнить еще раз, что эквивалентной нагрузки общей для всех случаев быть не может. Взятая в основу расчета величина внешней воронки, как мы видели тоже величина непостоянная, зависящая от части от конструкции.

Таким образом мы обнаруживаем, что все предложения в значительной степени отличаются теми или иными неправильностями, чем и может быть объяснен тот разброс в нагрузках, который определится, если произвести сравнительный расчет нагрузок на основе имеющихся предложений при совершенно одинаковых условиях.

Для сравнительного расчета взято защитное покрытие с поддерживающим слоем из сплошного ряда двутавровых балок №20, при бетонной толще над ними в 0,80 метра и пролете 2 метра (черт.51). За расчетное средство поразме-



Черт. 51.

ния взят снаряд 152 мм. полевой гаубицы при следующих данных: Р вес снаряда 41 кгр., заряд С - 8,8 кгр., угол встречи $\alpha = 42^\circ$, окончателъная скорость $U = 250 \text{ м/сек.}$ На основе произведенных расчетов составлена нижеследующая таблица, при чем все нагрузки для сравнения приведены к равномерно распределенной.

Т А Б Л И Ц А

сравнивающая нагрузки на поддерживающий слой от действия снаряда.

№№ по пор.	Наименование метода определения нагрузки (автор, страна)	Где опубликовано	Величина равномерно распредел. нагрузки на 1 пог. см. балки в кгр.	Примечание.
1.	Германия	Аренд и Цляшев. Современное устройство боевых и жилых казематных помещений.	6,3 кгр.	
2.	Рочаска		18 кгр.	
3.	Проф. Коханов	Технич. средства защиты	5,52 кгр.	При коэф. динамичности 4.
4.	Белинский	Строит. промышленности №12-1927г.	11,8 кгр.	
5.	Залесский	"Война и Техника" №6-7-1927г.	412 кгр.	
6.	Белинский	"Война и Техника" №1-1928г.	221 кгр.	
7.	Швеция		845 кгр.	Эквив. работы для 1 кгр. ВВ 500 т.
8.	Павлсен		174 кгр.	

Столь значительная разница в нагрузке на поддерживающий слой показывает достаточное неблагоприятное положение в этом вопросе и как бы невозможность дать в этой области нечто более правдоподобное, но здесь на помощь приходит современное состояние техники измерений динамических нагрузок.

В настоящее время можно идти методом раздельного изучения удара и взрыва снаряда, измеряя их действие и даже можно найти приборы, позволяющие непосредственно измерить величину давления на поддерживающий слой и тем внести полную ясность в вопрос; существует целый ряд приемов экспериментального определения и измерения напряжений, возникающих в конструкциях.

Путь экспериментальный всегда был наиболее надежен, а поэтому мы рассмотрим различные приемы измерений напряжений от динамических нагрузок в общих чертах, а приемы наиболее отвечающие нам подробно.

Мы здесь отбрасываем различные экспериментальные приемы измерений напряжений от статических грузов.

Предварительно ознакомимся в общем со значением собственной частоты колебаний приборов измерения, а также и с влиянием регистрирующих устройств на точность и возможность измерений.

Собственная частота прибора есть число полных колебаний (периодов) в секунду. Если давление претерпевает внезапное изменение скачек (А.В.), то прибор-измеритель под влиянием перемещающей силы получает некоторое ускорение и сразу не останавливается, а благодаря приобретенной кинетической энергии перескакивает за границу установки С (см. черт. 52).

Прибор начинает свои колебания. Частота колебаний увеличивается с уменьшением инерции или массы движущихся тел и с возрастанием направляющей силы. Благодаря сопротивлениям (демпфирование и трение) колеба-

бания постепенно прекращаются, затухают. Под демпфированием нужно понимать такое сопротивление, которое с уменьшением скорости само уменьшается, напр. пропорционально скорости, при чем отношение двух последующих максимальных амплитуд будет всегда величиной постоянной. Обозначив максимальные амплитуды размахов прибора, в последовательном порядке их убывания, через $\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3$ и т.д. будем иметь

$$\frac{\Theta_1}{\Theta_2} = \frac{\Theta_2}{\Theta_3} = \frac{\Theta_3}{\Theta_4} = \dots = \text{Const} = \nu \quad (\text{коэф. затухания}) \quad \text{X}$$

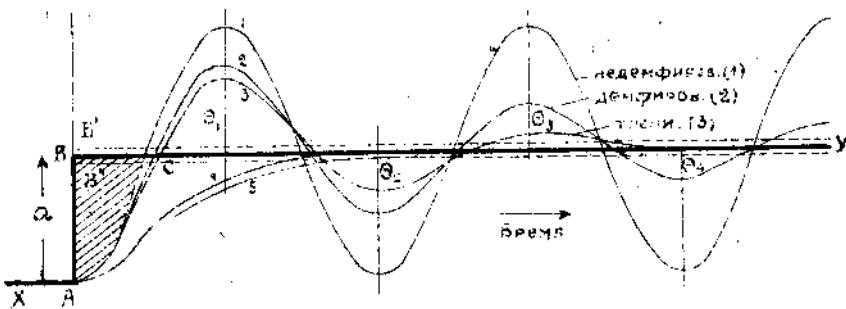
Взяв Неперов и обыкновенный Бригговский логарифм от ν получим:

$$\lambda = \lg \nu = \lg \frac{\Theta_i}{\Theta_{i+1}} \quad \text{и}$$

$\Delta = \log_{10} \nu = \log_{10} \frac{\Theta_i}{\Theta_{i+1}}$ где i есть некоторый порядковый номер. λ называется натуральным, а Δ обыкновенным логарифмическим декрементом.

Чем больше логарифмический декремент, тем сильнее будет затухание.

Можно усилить затухание настолько, что вся развивающаяся энергия поглощается уже при первой части колебания, такое движение аperiodичное (см. кривую 4 черт. 52).

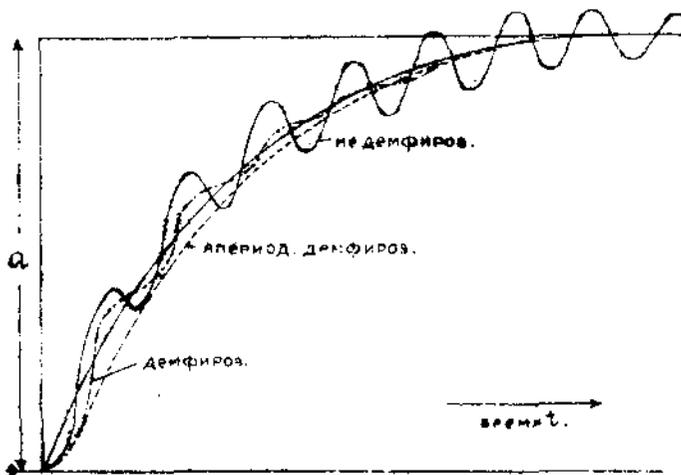


Черт. 52

Трение затрудняет точность наблюдений, прибор теряет свою чувствительность, показания получаются несколько выше или ниже истинного; более быстрое прекращение колебаний еще увеличивает отставание B' B'' и отсчет делается менее точным.

При демпфировании на затухающие размахи не вызывают никакого отклонения окончательного положения прибора от должного положения.

Таким образом трение в измерительных приборах вредно. Скачок $\Delta B/a$ практически никогда не бывает абсолютно по вертикали, он имеет характер некоторой кривой (черт. 53), на которую налагаются собственные колебания прибо-



Черт. 53.

ра. Амплитуды колебаний здесь меньше скачка и уменьшаются с увеличением числа собственных колебаний. Таким путем можно получить те же результаты, что и демпфированием.

Можно сказать, что для измерения скачков, особенно весьма кратковременных, желательно иметь приборы с малой инерцией и с высокой частотой (доходящей до десятков тысяч циклов в секунду).

При измерении колебаний, средней их величины (амплитуды), прибор должен сам принимать участие в колеба-

ниях, он должен быть сильно демпфирован, что лучше достигать уменьшением числа собственных колебаний (увеличение инерции и уменьшение передвигающей силы). Такие приборы мало пригодны для измерения коротких импульсов.

Исследование колебаний нужно также производить по возможности при устраненных собственных колебаниях, но применять широко демпфирование нельзя, так как оно может затруднить движение механизма, понизит его чувствительность и следования за измеряемыми колебаниями. Нужно уменьшать причину колебаний прибора, появление площади ABC (заатриховано на черт. 52), для этого нужно увеличить способность к перемещению у прибора, уменьшением его массы и увеличением перемещающей силы, т.е. повысить число собственных колебаний прибора.

В заключение нужно сказать, что все вышесказанное подчеркивает, что возможность применения одного и того же аппарата весьма ограничена и каждый раз нужно проводить основательный анализ всех условий, чтобы быть уверенным в достоверности наблюдаемых результатов.

Другим существенным вопросом для подобных измерительных приборов является устройство регистрирующей части.

Простейшим методом регистрации является механическая регистрация, заключающаяся в том, что легкий стифт (маршал) записывает относительное движение измерительного устройства на регистрирном вале, обтянутом бумагой (глянцевитой, закопченной и т.п.). Иногда включается промежуточная часть для увеличения чувствительности записи. Механический способ дешев, но включает в себя целый ряд недостатков. Основным недостатком является трение пера о бумагу, которое осложняет чтение результатов, при этом способе напр. логарифмический декремент не является постоянной величиной, а меняется в зависимости от амплитуды размаха прибора. Очень часто при этом диаграмма на барабане получается искаженной.

В этом отношении оптический способ регистрации представляет громадное преимущество перед механическим, так как не вводит сам по себе никакого добавочного трения, здесь рычагом замыкающим движение прибора, является световой луч. Движение световой точки на барабане можно осуществить почти строго перпендикулярно к оси вращения, а потому диаграммы не получают искажений. Способ этот требует применения светочувствительной бумаги (фотографической), а поэтому этот метод регистрации, при значительных скоростях вращения вала, сравнительно дорогой.

Наиболее чувствительным методом является электрический способ регистраций, начиная с простейших устройств — гальванометром и кончая совершеннейшими приборами — катодными осциллографами. Не касаясь деталей устройства этих приборов, отметим некоторые особенности их применения.

При электрическом методе регистрации регистрируется непосредственно не движение самого прибора, а вызванное им движение гальванометра. Для регистрации же движения последнего применяется только что описанный оптический способ, для каждой цепи и подвижной катушке гальванометра прикрепляется небольшое плоское зеркальце.

Преимущества этого метода заключаются в большой его простоте, при чем при посредстве самых несложных приемов, можно достигнуть больших увеличений, не прибегая вовсе к воздействию разных увеличительных рычагов, которые увеличивают трения установки. Благодаря применению чувствительного гальванометра, можно ставить регистрирующий вал близко от зеркальца гальванометра, благодаря чему получаются очень отчетливые и ясные записи.

Весьма существенным преимуществом является возможность регистрации на расстоянии. Можно прикинуть часть

иметь в одном месте, а наблюдение вести в достаточном удалении, это особенно важно для работ со взрывами.

Могли повстать опасения, что при этом методе движение рамки гальванометра могло бы оказать известную реакцию на движение самого прибора, но непосредственные опыты это не подтверждали, да и тому же возможно применение безинерционных регистрирующих приборов, к которым относятся катодные осциллографы.

Серьезное внимание должно уделяться устройству регистрирующего вала, чтобы вращение его было бы вполне равномерное, чтобы длина одинаци времени была бы везде одинакова и скорость вращения была достаточной, чтобы можно было регистрировать явления с коротким периодом.

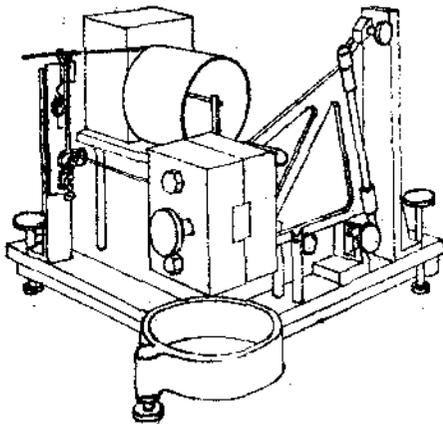
Теперь рассмотрим в общих чертах различные измерительные приборы, сперва те, которые применяются для измерения напряжений от динамических нагрузок в готовых сооружениях.

Динамическая нагрузка в этих случаях может быть определена косвенным путем 1) измерением амплитуды колебания, 2) измерением ускорения и непосредственным путем - измерением амплитуды удлинения поверхностных волокон.

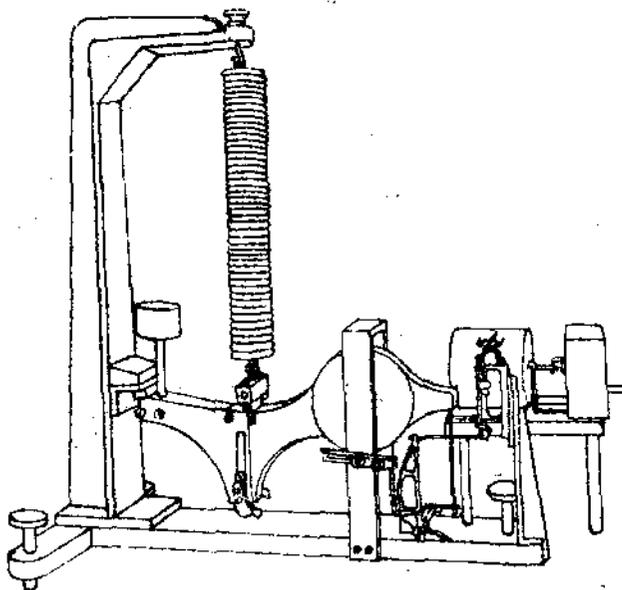
Измерение амплитуды колебания соответствует измерению прогибов при статических нагрузках. Напряжение может быть определено вычислением или сравнением со статическим прогибом.

Регистрирующие приборы дают вместе с величиной амплитуды одновременно и частоту.

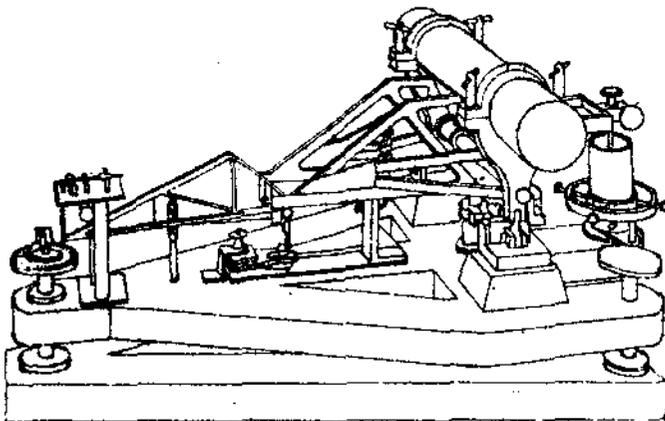
Измерителя колебаний строятся по принципу сейсмографа с применением инертной массы. Колебания могут быть разложены по трем направлениям, двум в горизонтальной плоскости и одному в вертикальной. Колебания эти можно измерять каждое в отдельности, но для этого нужно иметь тело, которое не повторит движений колеблющегося тела.



Черт. 54.

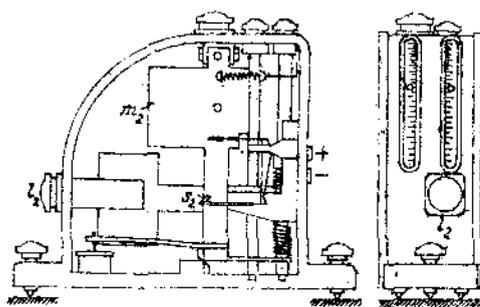


Черт. 55.



Черт. 56.

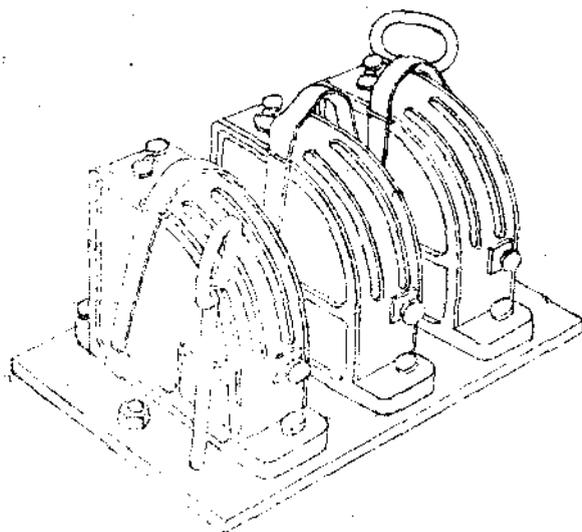
В качестве такового используют для измерения горизонтальной составляющей висячий груз в виде маятника, а для вертикальной составляющей груз висячий на пружине. На черт. 54, 55 и 56 показаны два горизонтальных сейсмографа (Wiechort) и один вертикальный. Смещение маятника относительно точки подвеса тесно связанной при посредстве других частей прибора с колеблющимся телом (напр. землей), отвечает фактическим сдвигам и может быть оптически или механически увеличено и записано на специальной вращающемся барабане. Работа этих приборов вполне определяется тремя постоянными: 1) собственной частотой или периодом колебания, 2) чувствительностью или статическим увеличением и 3) логарифмическим декрементом. Для точной записи необходимо, чтобы собственная частота аппарата была во много раз меньше частоты измеряемого процесса колебания. Для достижения этого применяются большие массы и малые направляющие силы (слабые пружины). Из сейсмографов возникли позднее приборы для технических целей, напр. виброграф Гейгера, виброграф фирмы Schenck. Последний прибор представлен на черт. 57 и 58.



Черт. 57.

Он объединяет две системы, так что позволяет одновременно измерять вертикальные и горизонтальные сотрясения. Тяжелая масса m_2 остается в покое относительно колеблющегося совместно

с исследуемым телом корпуса прибора и через систему рычагов осуществляет вращение зеркала s_2 . Последнее освещается лампой L_2 и бросает луч на расположенный, по окружности относительно оси вращения зеркала, масштаб. Технические приборы, как показала опыт, мало пригодны для измерения смещений при взрывах.



Черт. 58

В качестве примера использования подобных приборов для решения некоторых задач, отметим исследование колебаний здания при работе мотора Дизеля ²⁾. Сначала определяется нормальное давление от здания на 1 кв. метр почвы под фундаментом. Удельный вес кирпича - 1,93, высота здания 12,5 метров, т.е. давление на 1 кв. метр основания будет равно

$$P_0 = 10000 \times 1250 \times 1,93 = 24125000 \text{ гр.} = 24125 \text{ кгр.}$$

Прибор сейсмограф дал смещение по вертикали $z_m = 17,3 \mu$ при $T_p = 0,1161$ сек., этому соответствует ускорение $\omega = 5067 \text{ Мг}$ отношение этого ω к ускорению силы тя-

²⁾ Голицын. К вопросу об исследовании колебаний зданий.

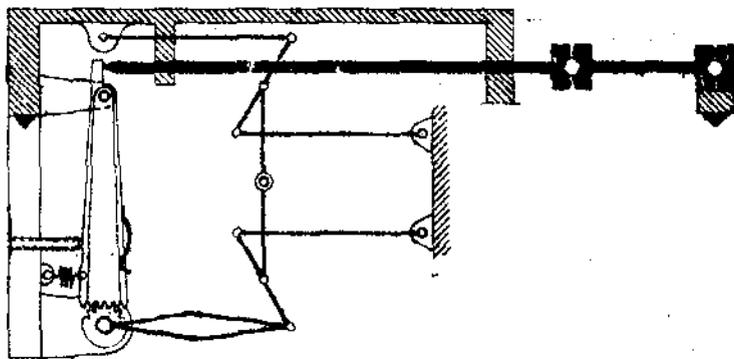
жестя в Ленинграде $g = 981,85 \text{ см/сек}^2$ будет $\frac{\omega}{g} = 0,00616$. Вот это отношение и служит характерным мерком силы удара.

Вся здания бывает на такую долю общего своего веса, то легче, то тяжелее. Таким образом силу вертикального удара на 1 кв. метр P можно считать равным

$$p = 2 P \cdot \frac{\omega}{g} ; \quad p = 249 \text{ кгр.}$$

Измерители ускорений строятся по тому же принципу, с тем лишь основным отличием, что собственная частота их должна быть значительно выше, чем измеряемая, или же совсем не иметь колебаний.

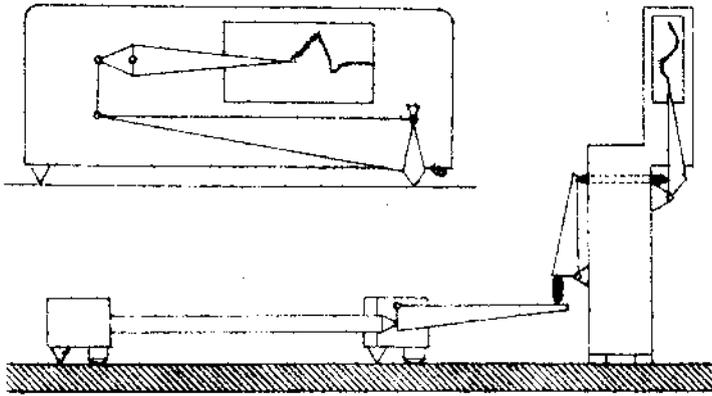
Измерители удлинений (экстензометры) делятся на 1) приборы основанные на принципе измерительного стержня, как например старые аппараты Френкеля (черт.59) и более новые Рейгера (черт.60) и 2) приборы основанные на принципе зеркальных аппаратов, например Фердей-Пальмер (Ferday-Palmer) (черт.61) и другие.



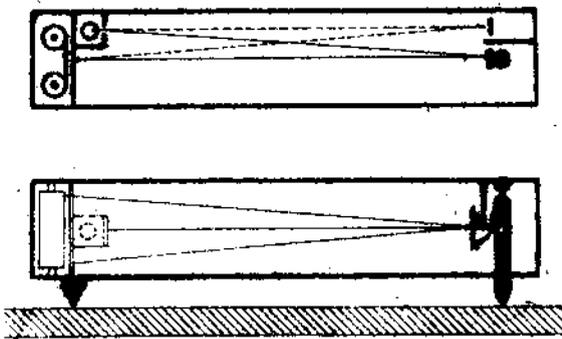
Черт.59.

Приборы эти не очень чувствительны, собственная частота несколько десятков герц. Интересен измеритель уд-

линейный Зимана (Siemann), основанный на изменении сопротивления столбиков из угольных дисков. ^{x)} Измерение



Черт.60

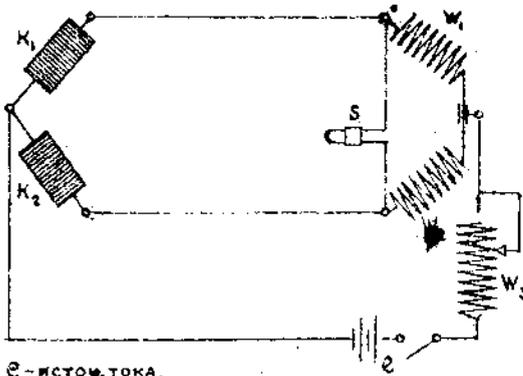


Черт.61

преодоходит на мостике Витстона (черт.62). Пока отношение таково, что сопротивление угольных столбиков равно сопротивлению реостатов (из никкеда), то ток в мостике не идет. Стоит только сопротивлению угольные дисков измениться под влиянием нагрузки, то появляется отклонение.

x) U.D.J.B.70N16. Ferndehnungsmessungen am Schiffskörper. Siemann.

на включенном в мостике гальванометре или измерительном шлейфе осциллографа.



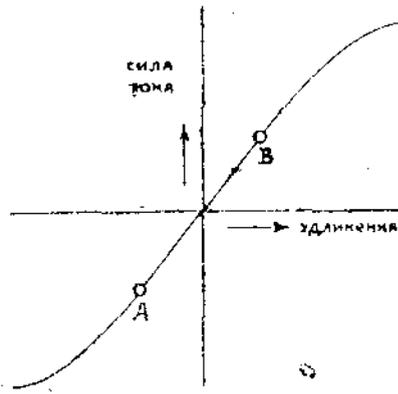
Е - источник тока.
 K₁, K₂ - угольн. диски
 S - мостик симметр. шлейфом
 W, W₂ - реостат
 W₃ - регуляир. реостат.

Черт. 62

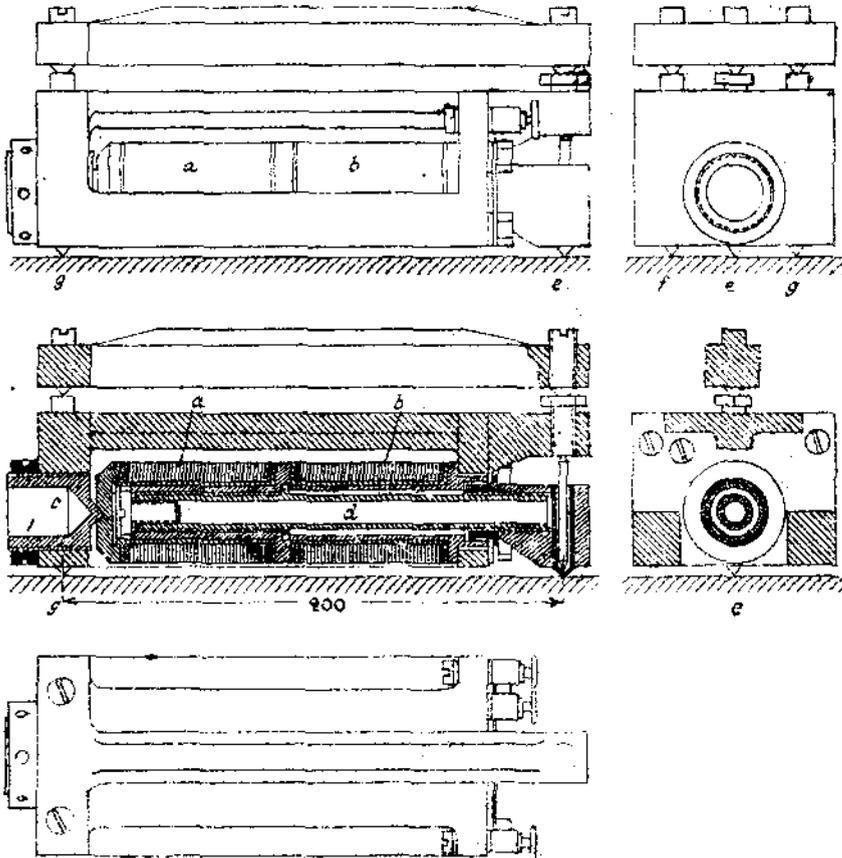
Изменение сопротивления столбика из угольных дисков является результатом того, что при давлении неровности поверхностей соприкосновения вжимаются упруго в друг друга, а по минованию нагрузки все возвращается в первоначальное состояние. Путем применения большего числа дисков (больше поверхность соприкосновения) и применения двух столбиков так расположенных, что когда один сжимается, другой растягивается, появляется пропорциональное изменение длины столбиков, изменение тока в мостике. Важно работать на прямом участке диаграммы (черт. 63), что конечно может быть соответственно подобрано.

Сам прибор устроен следующим образом (черт. 64) а и б столбики из угольных дисков, помещенные в прочную отливку из легкого металла. Установочный винт С служат для подготовительной нагрузки столбиков (тарирование). Измерительная штанга d передает смещение острия е относительно острий f и g на упорные выступы и таким образом через них на угольные диски, изолированные со всех сторон от утечки тока. Чтобы гарантировать с одной стороны стержню достаточную продольную подвижность, а с другой стороны выдержать давление закрепления (прибор прижимается к измеряемому телу, чтобы стержень следовал удлинению его) взято испытанное

Изменение сопротивления столбика из угольных дисков является результатом того, что при давлении неровности поверхностей соприкосновения вжимаются упруго в друг друга, а по минованию нагрузки все возвращается в первоначальное состояние.

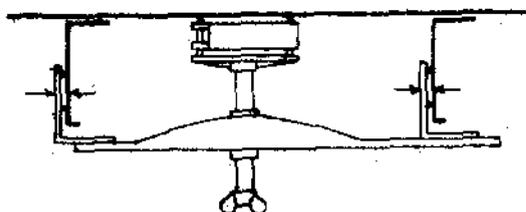


Характеристика сопротивления
пары столбиков из углеродных
дисков.
Черт. 63.



Черт. 64

приспособление в виде иглки давления (Druckstachel). Давление закрепления достигается очень часто деревянной окобой (черт. 65).



Черт. 65

ле Томсона $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$.

Изменяя индукцию, будет меняться и частота.

Мелкая перевести в изменение частоты колебательного контура очень незначительные перемещения, то для этого обычно меняют емкость C . Нормально конденсатор состоит из двух, разделенных диэлектриком, напр. воздухом, металлических пластин; емкость такого конденсатора определяется формулой

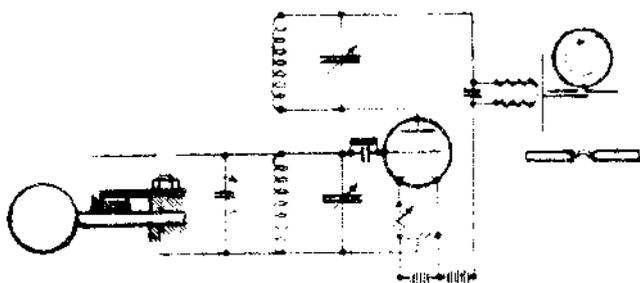
$$C = \frac{EF}{4\pi\delta}$$

где E - диэлектрическая постоянная, δ - расстояние между пластинами, F - общая поверхность проекции одной пластины на другую. Чтобы менять собственную частоту колебательной цепи, как уже отмечалось, можно менять емкость, а для этого достаточно облизить, вообще менять расстояние между пластинами. Хотят напр. определить прогиб токарного долота, то укрепляют одну пластинку конденсатора на нем, а другую прикрепляют к станине. При прогибе будут меняться расстояние между пластинами, т.е. емкость, а вместе с емкостью частота колебаний, которая регистрируется специальным устройством (черт. 66), состоящем из записывающего прибора и устройства, дающего цепь

Другой измеритель основан на изменении емкости.

Собственная частота f электрической колебательной цепи (контур) зависит от индукции L и емкости C и определяется по форму-

электрических колебаний. Нами здесь приводились свиде-



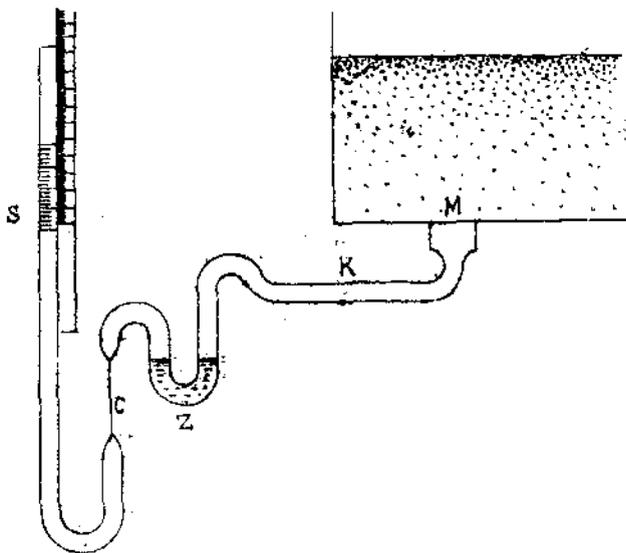
Черт. 66.

ния об некоторых измерительных приборах, чтобы показать сколь многообразные формы могла техническая мысль для решения задач измерения динамических нагрузок.

Современная техника измерений дает возможность и непосредственно измерять давления. Можно отметить приборы, применявшиеся при решении этого вопроса в связи с различными задачами гражданского строительства, а также в военной технике.

В гражданской технике до последнего времени применялись для этой цели измерительные приборы, использующие механические приспособления в виде перьев или мембран. Чтобы при этом достигнуть большой чувствительности нужно допустить большие деформации, а это обуславливает низкую собственную частоту прибора. Учитывая это, мы подробно на этих приборах останавливаться не будем, так как для быстро меняющихся военных нагрузок они мало пригодны, отметим только два приема. Штрошнейдер | Strohschneider | для изучения закона распределения давлений от сосредоточенного груза по горизонтальному дну наполненного песком ящика пользовался следующим приемом (черт. 67). Круглое отверстие в дне ящика Π затягивалось резиновой мембраной, под которой находилась вода. Посредством напорной трубки s , наполнявшейся спиртом, можно было держать воду над мембраной под некоторым давлением, между спиртом и водой был ус-

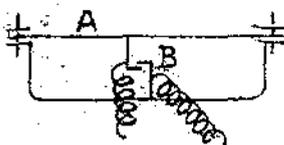
троев гидравлический затвор из вазелинового масла. Для того, чтобы сдача мембрана под давлением грунта не изме-



Черт. 67

няла режима, напорная труба *S* и подводная *K* были разделены вертикальным капилляром *C* с небольшим пузырьком воздуха по середине. За пузырьком устанавливалось наблюдение в микроскоп и он сохранялся на первоначальном месте увеличивая напор, таким образом ему не давали спускаться под влиянием давления в песке. Способ очень простоян. Этот и следующий способ приведен проф. Давиденковым.^{х)}

Гольдбек (Goldbeck) сконструировал динамометрический элемент, применив его для изучения законов распределения давлений от колеса на основании железной дороги (черт. 68).



Черт. 68.

Тонкий упругий диск *A* принимает давление грунта. Придавая диску лобную жесткость, можно удерживать прогиб в желаемых пределах (напр. 0,1 мм)

х) Известия Научно-Мелиорат. Института. Вып. XVI апрель 1927 г. О давлении земли на подпорные стенки.

Прогиб диска сейчас же вызывает размыкание электрического контакта В. Элемент зарывается в землю, на поверхность выводятся лишь провода электрической цепи и свинцовая трубка, соединенная с камерой элемента, позволяющая нагнетать в нее воздух под давлением. Желая определить давление на диск, нагнетают в камеру воздух, пока уже не уловить в телефон момент контакта.

Недостаток его тот, что диск перед измерением совершает какое-то, хотя и ничтожное, движение навстречу запышке, таким образом измеряется в сущности пассивное движение вместо активного и вообще висит измененно в режиме выпученого тела.

Есть приборы, основанные на изменении электрического сопротивления угла или металла под давлением, наприм. опыты Гуммеля и Финчана (Hummel a Finnan), обычно эти приборы дают устойчивые показания при больших давлениях: этот принцип был удачно использован, как мы видели выше, для измерения удлинений. Эти приемы хороши, так как всегда связаны с электрической регистрацией давления. Указанный принцип был применен проф. Дубелиром для исследования деформаций в грунте под давлением.

За последнее время появились приборы, основанные на особых свойствах кварца, к рассмотрению которых мы и перейдем, но предварительно кратко остановимся на некоторых теоретических предпосылках и освещении приборов, применявшихся в военной технике.

В военной технике приходится очень часто иметь дело со значительными давлениями, развивающимися и изменяющимися в очень короткое время, например давление в канале орудия, давление от взрыва в воздухе, давление удара по покрытию и т.п. Давно вынуждалась уже потребность в измерениях их. Приборы измерения давлений могут быть разбиты

x) Сборник Ленинг. Инст. И. П. С. Вып. 96 1927г. проф. Дубелир и Н. А. Шапошников. Исследование деформаций грунта посредством электрических измерений.

на две группы соответственно тому, основаны ли они на статическом (полустатическом) или динамическом способе определения давления.

В случае, если давление $P(t)$ - функция от времени противопоставляется реакция R , развивающаяся в органе, перемещаемом под действием силы (давления) P , равновесие определяется уравнением д'Аламбера, которое при введении сил инерции напишется так:

$$m \frac{d^2 u}{dt^2} = P(t) - R,$$

где m - масса движущейся системы, а u - перемещение ее. Сопротивление R может быть функцией от перемещения u , его последовательных производных по времени, в частности скорости $\frac{du}{dt}$, времени t и температуры θ . Если движущаяся масса и перемещения ее достаточно малы, можно предположить, что $m \frac{d^2 u}{dt^2}$ равно нулю; в этом случае $P(t) = R$.

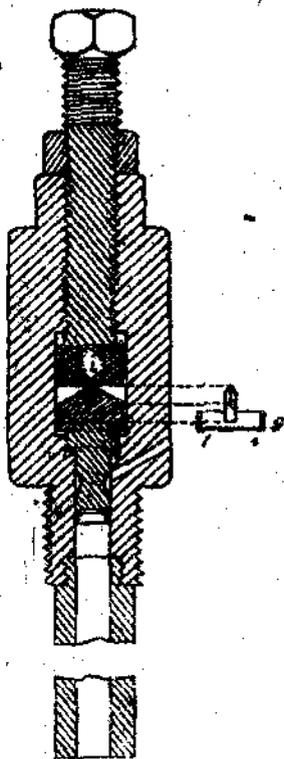
Это соотношение и определяет статический или как называет проф. Крайц полустатический способ. При этом допускаются деформации материальной системы настолько малых размеров, что перемещения ее отдельных частей сводятся к минимуму; сюда относятся медные или свинцовые столбики, называемые кресерами, пружинные манометры, интерференционные динамометры, пьезоэлектрические приборы, "kuldosa" и т.п.

Если наоборот - сопротивление R можно принять равным нулю, уравнение приводится к $m \frac{d^2 u}{dt^2} = P(t)$. Запись движения позволяет определить силу вызвавшую его. Это соотношение дает динамический метод. К нему можно отнести велосметр Sebert, способ Dann'a (1897г.), Höniger (1910г.) и т.д. Этот метод требует получения диаграммы, абсциссы которой изображают время, а ординаты - пройденный путь. Двукратное дифференцирование графическое или аналитическое, функция изображаемой диаграммой и дает искомую величину ускорения,

в следовательно и сль. Этот прием в исследовании кривых имеет трудности, напр. зависящие от неодновременного распространения деформации в стали при изучении отката орудий. Баллистический кинематограф, регистрирующий перемещение массы оптически, давая большое число снимков в секунду (несколько сотен), мог бы способствовать усовершенствованию этого метода.

Рассмотрим теперь приборы, отвечающие первому методу.

На первом месте по времени нужно поставить манометр Родмана (Rodman). Уже в 1851 году Родман предложил свой прибор для измерения давлений газов в канале орудия. Он представляет собой пустой железный цилиндр со сплошным дном (черт. 69). Верхнее отверстие закрывается



Черт. 69



Черт. 70

пробкой с винтовой резьбой, чтобы газы не могли проникнуть внутрь она кладется на медную прокладку; на нижнем дне лежит медная плитка h , на которой при давлении газов оставляет свой след нож g , соединенный с поршнем. Шток этого последнего ходит в канале, высверленном в пробке, вокруг штока медная набивка, служащая для того, чтобы газы не попадали в прибор.

Весь аппарат помещается внутри орудия на дне канала. О давлении при взрыве судят по глубине следа, составляемого ножом на медной пластинке.

Кремерный прибор дан Нобелем (Noble) в 1863 году. Состоит он из нарезной пробки (черт. 70) с цилиндрическим каналом, в котором с легким трением помещается поршень А, подвергавшийся давлению газов. Кремер, маленький медный или свинцовый цилиндр В, центрованный помощью каучукового колечка, помещен между головкой поршня и наковальной С. Кремер тарируется помощью преса со свободным поршнем, основанного на том же принципе, что и обыкновенный гидравлический пресс.

Как этот метод, так и предыдущий не являются достаточно точными, что выведено в настоящее время на основе изучения теории кремеров.

Большой недостаток этих приборов заключается в том, что работа их основана на остаточных деформациях (сжатие, черта), а последние зависят от скорости воздействия нагрузки, поэтому составление таражных таблиц для кремеров встречает много трудностей. ^{х)}

Из больших работ опытных с применением кремеров нужно отметить работу Аббота по опытному исследованию подводных взрывов (издана на русском языке в 1885 г.).

Интерференционный динометр Кирнера (J. Kirner) применяется им для измерения величины давления пороховых

х) Внутренняя баллистика. Оттенхеймер. Перевод. Изд. ВТА.

газов в ружейном стволе. Использовано в этом приборе изменение диаметра Ньютонских колец при взаимном нажатии и вызванной этим деформации двух соприкасающихся чечевиц. Давление от газов передается поршеньком. Кольца фотографировались в отраженном свете на быстро вращающуюся круглую пластинку X). В настоящее время для этой цели применяется освещение чечевиц желтым светом, а против них устанавливаются интерферометры Пульфриха.

Кирнер дает следующую таблицу из опытных наблюдений.

№р опы- та	Заряд гр.	Сжатие крешера.	Соответств. давление, вы- численное по статич. диагр. крешера в кгр	Давление, опреде- ленное при помо- щи динамо- метра в кгр.	Приме- чание
1	2,9	1,378	2020	2750	
2	2,9	1,864	2450	2500	
3	2,0	0,305	841	1000	

Таблица показывает увеличение силы при взрыве по сравнению со статической силой, которая произвела бы ту же деформацию крешера, здесь подтверждается отмеченное выше значение скорости сжатия крешера. Для получения точных результатов нам представляется необходимым отказаться от неупругих динамометров.

Применение интерференционных приборов встречает затруднения в виду дороговизны интерферометров Пульфриха, а также хлопотливых наблюдений.

Пьезоэлектрический метод основан на использовании кварцевого кристалла, освобождающего некоторое количество электричества под давлением. Так как кристалл включен в цепь сетки катодной лампы, то заряды его меняют

Известия СВВ Политехи. Института 1913 г.

г. III. О пределе упругости при ударе Н. И. Давиденков
1930 г.

потенциал сетки, измененный усиленный ток цепи регистрируется катодным осциллографом. Модуль упругости кварца равен $0,8 \cdot 10^{10}$ эрг./см.², возникающие при измерении в нем деформации практически равны 0, т.е. он близко отвечает условию $P(t) = R$. Первоначально им пользовался при своих работах о качаниях тяжелых маятников (проектирование сейсмографов) Голицын.

Этот метод как в части приемника давления, кварца, так и в части регистрирующих устройств (осциллографы) наиболее полно соответствует задачам измерения динамических нагрузок. Тоже в значительной степени можно сказать о приборе "kuldosa" сконструированном проф. Крейгером (Kreiger). В этом приборе использован метод Бринелля, но только работа идет в пределах упругих деформаций, а для измерений их использован слой сажи; диаметр кружка, получающийся от нажатия на плоскую стальную наковальню, покрытую сажей, шарика очень твердой стали, соответствует величине давления. По скольку здесь измеряются только упругие деформации, то сила удара будет при равных деформациях равна статическому грузу на монитальной машине.

Из всех перечисленных методов измерения динамических нагрузок для нашей цели наиболее приемлемым является, как это мы видели выше два, а именно: 1) измерение нагрузок при помощи прибора "kuldosa" и 2) пьезоэлектрический метод.

Поэтому эти два метода мы рассмотрим подробнее. Начнем с первого.

Известно, что на основании опытов Бринелля с шариками, можно получить понятие о свойствах исследуемого материала, его твердости, а также о давлении которому подвергается данный материал.

По способу Бринелля (Brinell) стальной шарик (обычно диаметром в 10 мм) вдавливается под определен-

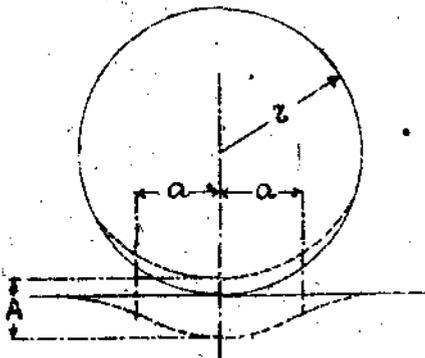
ним статическим давлением в гладкую поверхность испытываемого более мягкого материала и оставляет на ней отпечаток, который измеряется с точностью до 0,01 мм.

Величина отпечатка у одного и того же материала, зависит от нагрузки на шар.

Если на шар передается толчок от падения какого-либо груза, то также получается оттиск, который можно принимать за меру величины удара (толчка).

При опытах Бринелли переходились пределы упругости в измеряемых материалах, а потому для измерения силы удара этот метод имеет недостатки. Действительно, быстрый удар дает больший оттиск, чем медленный при той же энергии, кроме того небольшие неровности в более мягком материале в заметной степени влияют на результат.

Проба твердости по методу Бринелли сама по себе не требует особого теоретического обоснования, и была установлена многочисленными опытами, так как за пределами упругости вообще трудно говорить о каких либо законах, но поскольку метод Крейгера основан на упругих деформациях необходимо, хотя бы кратко, ознакомиться с теоремой Герца (Hertz), касающейся скатки шара и плоскости.



Черт. 71.

Если зажимать шар на плоскость с силой P , то вследствие деформаций получается соприкосновение по некоторой поверхности (черт. 71), ограниченной контуром радиуса a (на чертеже нужно представить себе, что шар сдвинут на вели-

тому А и таким образом пункты соприкасаются). Эта поверхность называется поверхностью давления.

А есть величина сплюсывания, она равна $a^2 \cdot x$. Радиус в контуре давления весьма мал по сравнению с размерами шара, не затрагивая здесь теоретического вывода его величины, который можно найти у Форрля, дадим сразу конечные результаты:

$$a = 1,11 \sqrt[3]{\frac{P}{E}} \cdot z \quad \text{откуда учитывая вы-$$

шеприведенное выражение

$$A = 1,23 \sqrt[3]{\frac{P^2}{E^2 z}}$$

По поверхности соприкосновения давления распределяются неравномерно и достигают наибольшего значения в центре поверхности давления. Величина этого наибольшего давления может быть вычислена по формуле

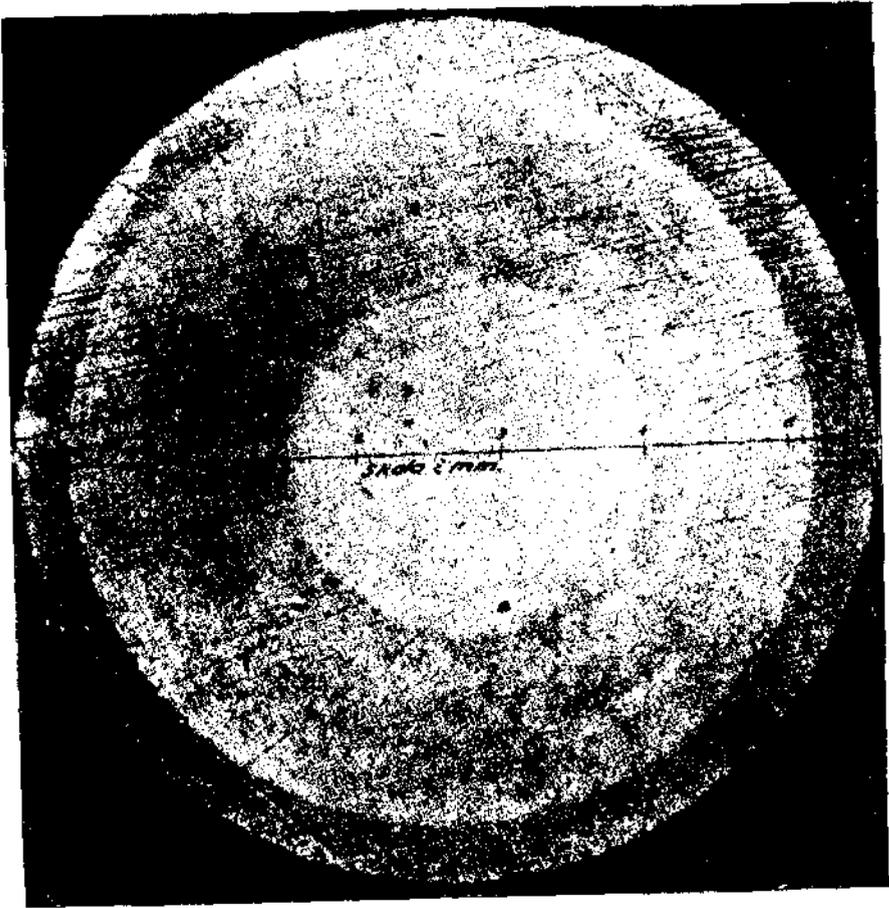
$$P_{\max} = 0,388 \sqrt[3]{\frac{P E^2}{z^2}}$$

Эти три формулы теории Герца вполне позволяют подойти сознательно к методу Крейгера, здесь остается еще отметить, что максимальное напряжение P_{\max} может иметь значительную величину, порядка 35000-40000 кгр/см² (для хорошей стали) без появления остаточных деформаций.

Метод проф. Крейгера заключается в следующем.

Для того, что избежать выше отмеченных недостатков метода Бриедля, напряжения шара и плоскости берутся ниже предела упругости. Применяемые им, для его опытов, шар и плоскость делаются оба из одного и того же твердого материала, а именно имеющей высокий предел упругости хромовой стали. Так как изменения формы упруги, то на поверхности не остается никаких следов и плоскость для регистрации упругих деформаций должна быть особо подготовлена. Для этого она покрывается на полированной своей поверхности тонким слоем сажи, на которой шар оставляет после нажатия след в виде круглого блестящего пятна. Диаметр круга пятна отсчитывается с точ

*) Förpl. Diamond Zwang München. 1920, стр. 245.



Фиг. 72.



Фиг. 74.

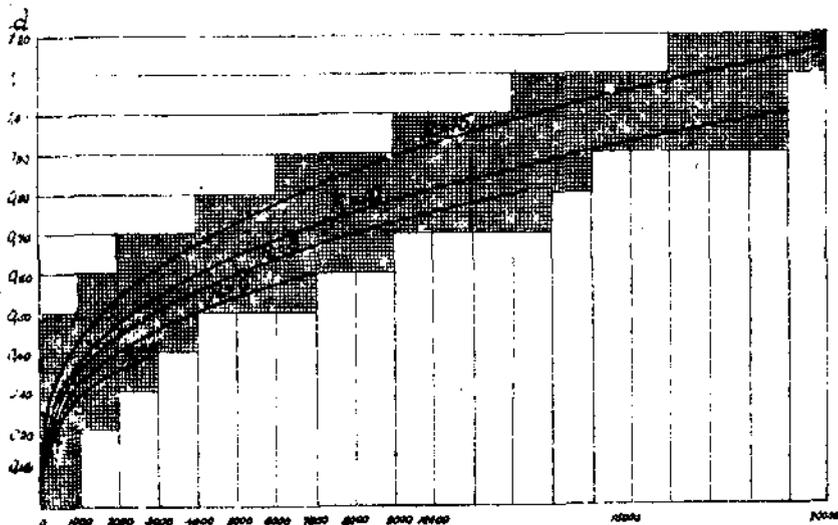
ность до $1/50$ $1/100$ мм.

Фот. (72) показывает микрофотографию такого оттиска.

Весьма близкая к изложенному методу работа была выполнена Н.Н. Давиденковым в Механической лаборатории Петр. Политехнического Института в 1914-19г. и описана в его статье "Опыт измерения динамической прочности стали". Проф. Давиденков брал только вместо шара и плоскости, два шара разных диаметров. Поскольку им отмечается целый ряд трудностей, то мы считаем необходимым во многих местах дальнейшего исследования подробно останавливаться на них и широко делать ссылки и выдержки из ценного опытного материала вышеупомянутой работы.

Первый вопрос, с которым приходится столкнуться при работе методом Крейгера, является установление основного размера прибора.

Задача эта сводится к определению радиуса шара в зависимости от величины измеряемой нагрузки и допускаемого для материала прибора P_{\max} (максим. напряжение). Проф.



Черт. 73.

Крейгер для своего прибора брал $P_{\max} = 35000$ кгр/см² и для всех больших нагрузок, измерявшихся им, составил

следующий график ^{x)} зависимости диаметра отпечатка от величины нагрузки (0-20000 кгр) и радиуса шара (черт.73) построенный по формуле

$$P = \frac{d^3 E}{2,22^3 r}$$

где d и r в сантиметрах и P в кгр.

С шаром радиусом r в 2,5 сантиметра была произведена серия опытов для проверки правильности формулы Герца. Полученные величины представлены в виде таблицы и дают основание к признанию основательности формулы. Модуль упругости взят равным 2050000 кгр/см.²

Сила P	100	200	300	400	500	750	1000	кгр:
По формуле Герца...	0,110	0,139	0,159	0,175	0,188	0,215	0,257	сант.
Из опыта...	0,111	0,139	0,161	0,175	0,190	0,218	0,239	сант.
$\sigma = \frac{6P}{\pi d^3}$	15800	19900	22400	25200	26800	30400	34000	кг/см. ²

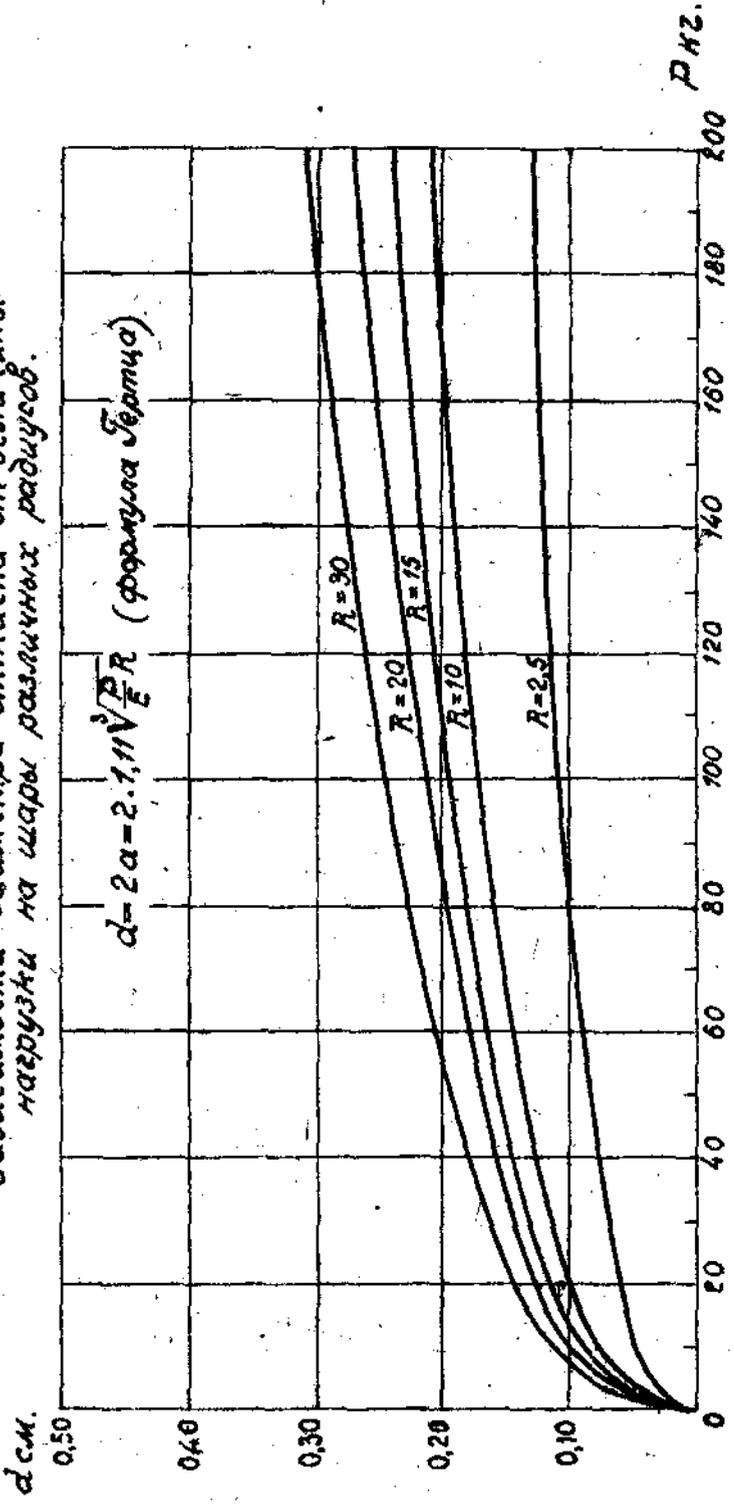
Измерение больших нагрузок должно повести к применению шаров больших радиусов. Для того, чтобы ограничить размеры прибора Крейгер вырезал часть требуемой сферы; внешний вид измерительного прибора виден на фотографии 74.

Для уяснения всех вопросов мы приведем пример проектирования прибора для нагрузки порядка 100 кгр. (прибор осуществлен).

Для этих нагрузок нами составлен соответствующий график (черт.75). Затем следующим образом определили допускаемое предельное напряжение для инструментальной стали, из которой намечалось сделать прибор.

x) Tidsskrift i fortifikation 1924 г.

График
зависимости диаметра от различных
нагрузки на шары различных радиусов.



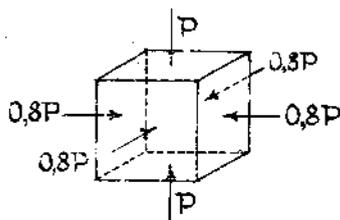
d - диаметр оттока на плоскости; R - нагрузка на шар;
R - радиус шара (шаровой поверхности).

Черт. 75

По опытам Стрибека^{х)} для шариков из лучшей закаленной стали можно принять $K = 50$.

$P = Kd^2$, этому соответствует давление $p = 37450 \text{ кг/см}^2$ в центре поверхности соприкосновения. Способность материала выдерживать в данном случае столь высокие напряжения можно объяснить, если при суждении о прочности исходить из предположения, что достижение опасного предела обусловлено величиной касательных напряжений (III теория прочности). Вырежем в центре поверхности давления бесконечно малый прямоугольный параллелепипед так, чтобы его верхняя грань совпала с поверхностью давления.

Если p величина сжимающих напряжений по этой грани, то, как показывает точное решение задачи, по боковым граням будут действовать сжимающие напряжения, равные, примерно 0,8 (черт.76).



Черт.76.

Согласно третьей теории прочности, предел пропорциональности в рассматриваемом случае будет достигнут тогда, когда разность между наибольшим и наименьшим сжимающими напряжениями делается равной пределу пропорциональности при простом сжатии.

Наша инструментальная сталь имеет предел пропорциональности примерно не $> 5000 \text{ кгр/см}^2$, т.е. величина P , при которой можно ожидать остаточных деформаций в центре поверхности соприкосновения определится из условия

$$P - 0,8P = 0,2P = 5000 \text{ кгр/см}^2 \quad \text{откуда } P = 25000 \text{ кгр/см}^2$$

В точках, прилегающих к краям контура давления, разность между наибольшим и наименьшим напряжениями боль-

х) См. Тимошенко. Курс сопротивления материалов.

ше, а именно 0,267 р., а потому предельное напряжение

$$p = \frac{5000}{0,267} \approx 18500 \text{ кгр/см}^2$$

но так как в глубине шара по некоторым исследованиям можно ожидать появления остаточных деформаций еще ранее, то для гарантирования себя от появления их останавливаемся на предельном напряжении в 15000 кгр/см².

Определим при этом предельном напряжении и при взятых предположительном давлении в 100 кгр. допустимые размеры шаровой поверхности по формуле

$$P_{\text{max}} = 0,388 \sqrt{\frac{PE^2}{\gamma^2}} \quad \text{найти } \gamma.$$
$$1500 = 0,388 \sqrt{\frac{200 \cdot 2200000^2}{\gamma^2}}$$
$$\gamma^2 15000^2 = 0,388 \cdot 200 \cdot 2200000^2$$
$$\gamma^2 = \frac{0,388^2 \cdot 200 \cdot 2200000^2}{15000^2} = 16,6$$

$$\gamma = 4,1 \approx 5 \text{ сант.}$$

Таким образом для нагрузок в 100-250 кгр. при предельном напряжении в 15000 кгр/см² можно применить шаровую поверхность радиусом в 5 сант. При установлении основных размеров прибора нужно иметь в виду, кроме того, чтобы давление на площадь соприкосновения не превосходило допустимого, еще и то, чтобы размеры прибора отвечали необходимой точности измерения.

Из кривых на графике (см. черт. 75) видно что при малых нагрузках разницы между оттисками достаточно ощутительна, но при увеличении нагрузки более 100 кгр/см², кривая принимает характер прямой, весьма близкой к параллельности по отношению к оси х-ов. Таким образом правильные отсчеты здесь производить труднее; чем больше диаметр (радиус) шара, тем это неудобство менее.

Учитывая это, мы несмотря на возможность применять шар радиусом в 6 см., делаем пробу с шаром в 10 сант. Определим для этого шара величину контура давления для нагрузок, меняющихся от 10 до 200 кгр., через 10 кгр. по формуле

$$a = 1,11 \sqrt[3]{\frac{P}{E}} r.$$

Переписывая эту формулу в следующем виде

$$a = 1,11 \sqrt[3]{\frac{r}{E}} \sqrt[3]{P}.$$

мы видим, что $I, II \sqrt[3]{\frac{r}{E}}$ есть величина постоянная (Const) равная для наших исходных данных

$$1,11 \sqrt[3]{\frac{10}{2200000}} = 0,0183.$$

Это облегчает составление расчетной таблицы:

№№ по пор.	Измер. давление P в кгр.	Величина $1,11 \sqrt[3]{\frac{r}{E}}$	Величина $\sqrt[3]{P}$	Величина радиуса контура давления a в см.	Величина диаметра контура давления в сант.	Разница между смежными отчислениями	Примечание.
1	10	0,0183	2,15	0,039	0,078	..	
2	20	"	2,71	0,049	0,098	0,020	
3	30	"	3,10	0,057	0,114	0,016	
4	40	"	3,42	0,063	0,126	0,012	
5	50	"	3,68	0,067	0,134	0,008	
6	60	"	3,91	0,071	0,142	0,008	
7	70	"	4,12	0,075	0,150	0,008	
8	80	"	4,30	0,079	0,158	0,008	
9	85	"	4,39	0,0805	0,161	0,003	
10	90	"	4,48	0,082	0,164	0,003	
11	100	"	4,64	0,085	0,170	0,006	
12	110	"	4,80	0,088	0,176	0,006	
13	150	"	5,31	0,097	0,194	0,018	
14	200	"	5,84	0,107	0,214	0,020	

Из этой таблицы видно, что при малых нагрузках разница между смежными оттоками при изменении нагрузки на 10 кгр. достигает 0,2 мм., а при нагрузках порядка 100 кгр. эта разница быстро падает до 0,06-0,02 мм., доходя до возможных ошибок при измерении. Это обстоятельство подчеркивает важность соизмерить прибор с точностью измерения. Обычно можно ожидать точность измерения порядка 0,02-0,01 мм. (измерение штанген-циркулем деление линейки 0,5 мм., нониус имеет 25 делений, т.е. его цена $0,5:25 = 0,02$ мм., такова и точность измерений, микроскоп Гартмана при окуляре №2 и об'ективе №2 точность до 0,03 мм., микроскоп Лемателле с микрометром - точность до 0,01 мм.). Проф. Давиденков в своей работе определил для шарового динамометра точность измерения силы в $4\frac{1}{2}\%$, т.е. при измерениях нагрузок в 100 кгр. достаточно ее определять с точностью до 5 кгр. Вот эту разницу нужно уметь замерить, измерение размеров оттока при изменении нагрузки на 5 кгр. должно быть больше точности допускаемой измерительными приборами. Все это заставляет работать при шаровой поверхности большого радиуса.

Составим сравнительную таблицу для шаров нескольких радиусов, произведя расчет тем же методом, который был применен для шара радиусом в 10 сант.

№№ п.п.	Нагрузка P в кгр.	Шар радиуса $r = 15$ см.		Шар радиуса $r = 20$ см.		Шар радиуса $r = 30$ см.	
		Диаметр оттока d в сант.	Разница между смежными оттоками	Диам. оттока d в сант.	Раз- ница между смеж. отти- сками	Диам. от- тока d в сант.	Разни- ца между смеж. отти- сками
1	10	0,090		0,098		0,110	
2	50	0,155		0,168		0,185	
3	60	0,164	0,009	0,178	0,010	0,207	0,012
4	70	0,173	0,009	0,188	0,010	0,218	0,011

5	80	0,181	0,008	0,198	0,010	0,228	0,010
6	90	0,188	0,007	0,204	0,006	0,237	0,009
7	95	0,192	0,004	0,209	0,005	0,242	0,005
8	100	0,195	0,003	0,212	0,003	0,246	0,004
9	105	0,198	0,003	0,216	0,004	0,250	0,004
10	110	0,202	0,004	0,220	0,004	0,254	0,004
11	150	0,202		0,243	-	0,282	-
12	155	0,226	0,002	0,246	0,003	0,285	0,003
13	160	0,228	0,002	0,248	0,002	0,288	0,003

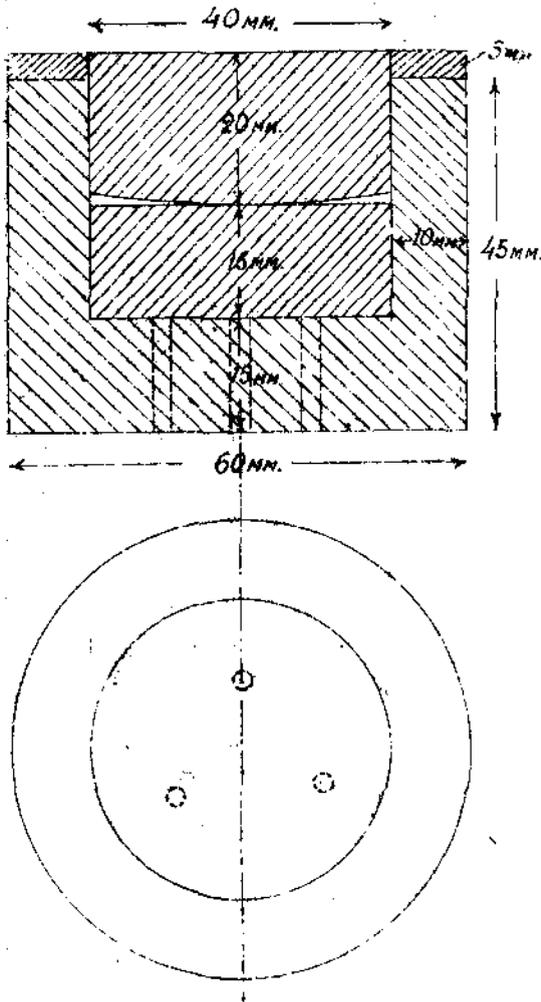
На основе этой таблицы, учитывая необходимость работы и при нагрузках, доходящих до 200 кгр., наиболее надежными является избрать шаровую поверхность радиусом в 30 сантимет.

При этом радиусе наибольшее давление

$$P_{\text{max}} = 0,388 \sqrt{\frac{200 \cdot 2200000^2}{30^2}} = 3880 \text{ кгр/см}^2$$

Для удобства пользования линзы помещаются в металлический стакан соответствующих размеров (черт.77). Этот стакан служит для центрирования верхней линзы, имеющей нижнюю шаровую поверхность. Для выталкивания линзы при разборке прибора в дне стакана сделаны отверстия. Поверхность верхней линзы может быть выравнена с краями стакана за подлиню при помощи специального кольца. Материал для изготовления прибора играет существенную роль, особенно для линз, которые обычно делаются из лучшей высокоуглеродистой стали. Соприкасающиеся поверхности должны быть весьма совершенно отполированы, так как малейшая царапинка (особенно риски от работы резца) будет искажать форму отиска и затруднять измерения.

Верхняя линза при своем перемещении испытывает трение о стенки стакана, но поскольку перемещение ничтожно



Черт. 77.

но по величине, а именно для расчетного примера максимальная величина перемещения, определяемая из форму-

$$A = 1,23 \sqrt[3]{\frac{P^2}{E^2 z}} = 1,23 \sqrt[3]{\frac{200^2}{2200000^2 \cdot 30}} = 0,0008 \text{ см.}$$

т.е. можно не опасаться искажения результатов измерения, вследствие возможного трения.

Установив таким образом метод определения размеров прибора Кульдоса переходим к тарированию его.

Первой задачей является выбор прессы, что зависит от величины нагрузок, точное тарирование малых нагрузок на мощных прессах (5 тон. пресс Гагарина, 5 тон. гидравлический пресс Амслера и т.п.) невозможно, так как цена деления такова, что не позволяет сделать соответствующей точности измерения.

Прессе должен отвечать расчетным нагрузкам, для нашего примера представилось возможным приспособить опытно-испытательную машину Амслера на изгиб, путем устройства некоторых дополнительных частей.

Выбрав пресс необходимо подготовить прибор, а именно законченную поверхность. Нижняя плоская линза закапчивается или сильно коптящим пламенем бензола или как это делал Н.Н. Давиденков^{х)}, покрывается прибор слоем копоти от газовой горелки (обыкновенный осветительный газ) при неполном закрытии притока воздуха. Вообще копоть должна быть сухая, чтобы избежать приставания отдельных кусков к верхней линзе, а также ложится ровным слоем. Для получения однородного слоя сажи необходимо металлическую линзу предварительно прогреть в масляной ванне, обтирать насухо и затем уже закончивать. В противном случае линза запотеет, вследствие большой теплоемкости стали, конденсируя водяные пары пламени и тем нарушает однородность слоя сажи. Получаемые на таком слое сажи оттиски, как мы уже видели, обладают достаточно резкими контурами. Хорошая видимость оттиска объясняется тем, что под давлением слой копоти спрессовывается и приобретает гладкую блестящую поверхность.

Н.Н. Давиденков отмечает встретившиеся у него трудности, выразившиеся в том, что контуры оттиска не
х) См. Статья его "Опыт измерения динамической прочности стали".

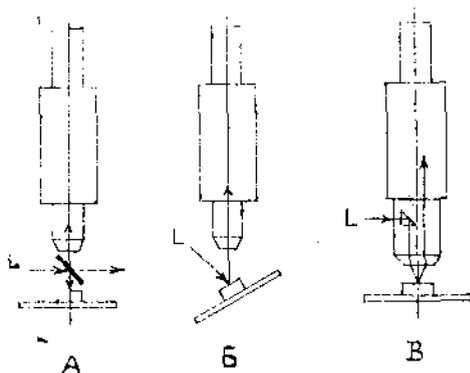
имели строго круговой формы. Это явление можно объяснить недостаточной совершенной шлифовкой шариков, а также тем, что при каждом новом наблюдении соприкасались между собой все новые поверхности шариков, поэтому новые сочетания имеющихся неровностей влекли колебания контура оттисков. В запроектированном приборе стакан обеспечивает центрованное касание, а также можно добиться производства наблюдений при неизменно одинаковых положениях линз.

Фактическое тарирование производится следующим образом: сперва закаливается нижняя линза и она укладывается на дно стакана, затем осторожно опускается верхняя линза, собранный таким образом прибор устанавливается между захватами пресса и подвергается давлению. На каждую нагрузку необходимо производить несколько отсчетов.

После каждого отсчета нужно линзы промыть, протереть замшей и обмахнуть кистью, чтобы лучше сохранить полирование поверхности.

Для наблюдения и измерения оттисков годны микроскопы (*metallmikroskop*), применяемые для наблюдения шлифов металла в металлографической практике. Соответствующее увеличение достигается подбором окуляров. Измерение размера оттиска при непосредственном наблюдении производится при помощи микрометрического окуляра или же микрометрическим столиком, в последнем случае сперва совмещается с чертой один край оттиска, затем столик передвигается до совмещения противоположного края, микрометрический винт дает отсчет длины. При этих измерениях, как показал опыт, имеет большое значение освещение наблюдаемой поверхности. При небольших увеличениях, вследствие большего расстояния об'ектива от поверхности линзы, достаточное освещение об'екта не представляет затруднений. Помещенное между об'ективом

косо падающий свет (черт. 78Б) дает достаточное освещение наблюдаемой поверхности. Сильные увеличения, при которых расстояние между объективом и линзой составляет только доли миллиметра, требуют особого осветительного приспособления (черт. 78 В). Во многих случаях желатель-



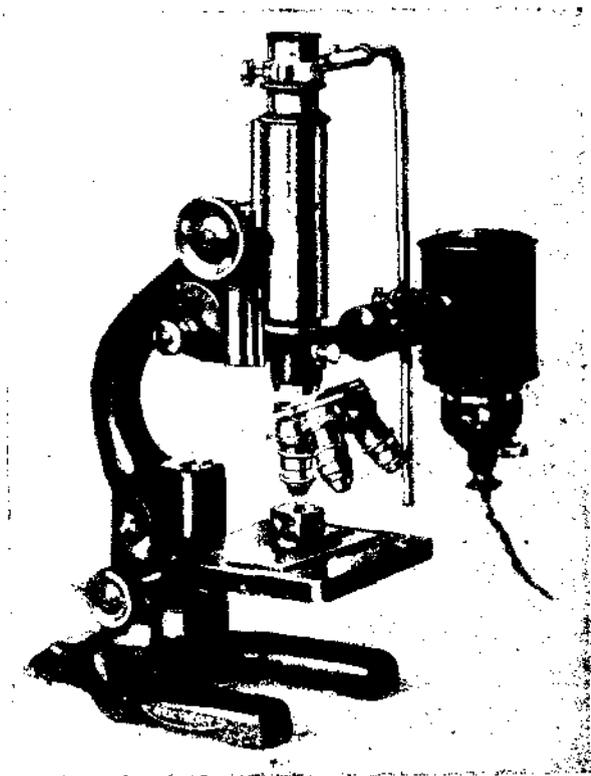
Черт. 78 А, Б, В.

но иметь материал протокольного характера в виде снимков оттисков, то для этого можно применить микрофотографические аппараты, напр. де Шателле. На фотографиях 79 и 80 представлен общий вид одного из микроскопов, пригодных для работы с кульдовой, а также общий вид одной из микрофотографических установок. Подробное описание этих приборов можно найти у проф. Отто Ваврциньох^{х)}.

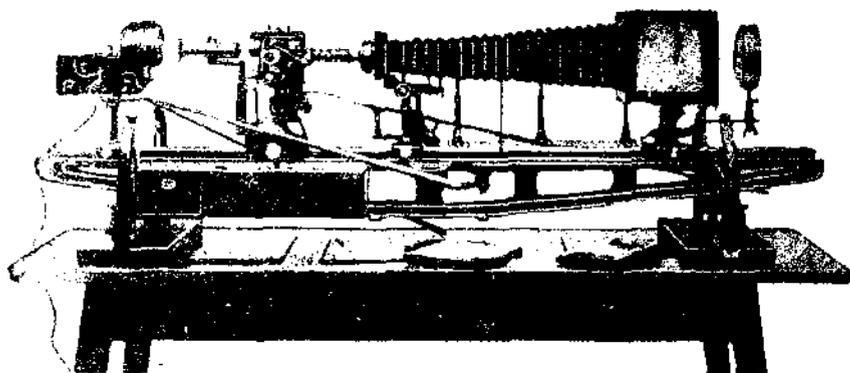
В результате тарирования составляется таблица, дающая сведения о нагрузках в зависимости от измеряемого оттиска и позволяющая уже вести опытные наблюдения.

Как пример практического использования приборов Кульдов служат применение их на опытах в Карлсбруне и

х) Ваврциньох. Руководство по испытанию материалов. Все выпуски.



Фиг. 79.



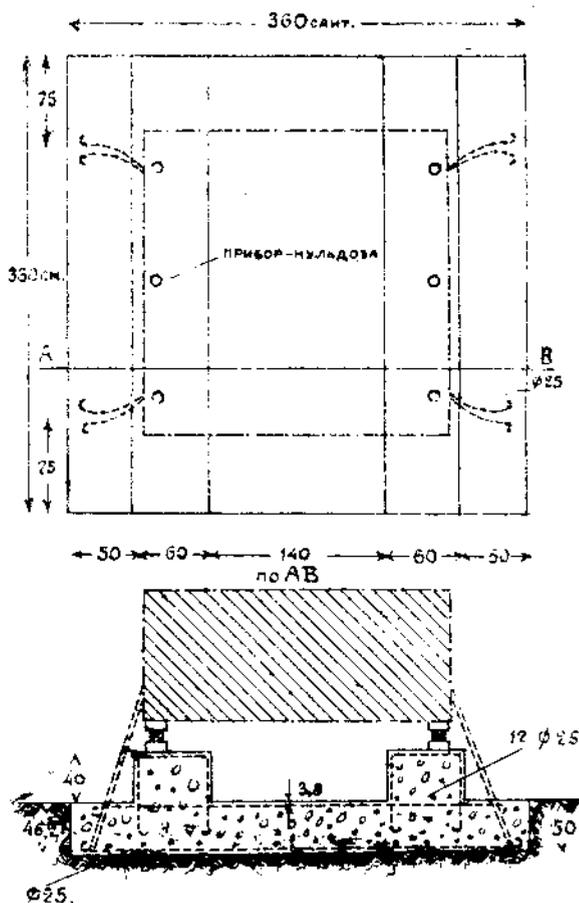
Фиг. 80.



Фиг. 81.

Кардборге в 1920-23 годах по изучению действия снарядов по бетону и железобетону.

Испытание велось исключительно на плитах, приборы должны были давать величину реакций. Для измерения реакций от удара снаряда приборы устанавливались между опытной плитой и основаниями, поставленными вертикально (фотография 81). С каждой стороны расчетного пролета по три прибора. Достигалась подобная установка приборов подвеской их на определенных расстояниях один от другого, для чего стакан прибора имел отлив с зажимными винтами (фотография 74, общий вид прибора). Для измерения реакций от взрыва основание и опытная плита располагались горизонтально (черт. 82), а между



ними по прежнему укладывались приборы Кульдова.

Во время ударов или взрывов снарядов опытная плита надавливалась на приборы, в результате чего каждый прибор дает оттиск, по размерам которого можно определить величину реакции.

Общий вид прибора был уже показан ранее, здесь постараемся определить - размеры прибора, размеры приложения шаровой поверхности на основании одного оттиска приведенного на фотографии 72.

Диаметр этого оттиска равен 0,502 сант., т.е. радиус $a = 0,251$ см.

Зная, что $a = 1,11 \sqrt[3]{\frac{P}{E}} z$, можно написать, что

$$d = 2,22 \sqrt[3]{\frac{P}{E}} z \quad \text{или} \quad P = \frac{d^3}{2,22^3} \cdot \frac{E}{z}$$

С другой стороны известно, что наибольшее давление в месте соприкосновения шара с плоскостью

$$P_{\max} = 1,5 \frac{P}{\pi d^2} = \frac{6P}{\pi d^2}$$

В излагаемых опытах⁴ для P_{\max} была взята величина 35000 кгр/см², подставляя ее в вышеприведенное выражение получаем

$$35000 = \frac{6P}{\pi d^2} \quad \text{откуда} \quad P = 18300 d^2,$$

но ведь $P = \frac{d^3}{2,22^3} \cdot \frac{E}{z}$. Из этих выражений для P , подставляя вместо E его величину 2050000 кгр/см² можно определить зависимость между d и z , а именно

$$18300 d^2 = \frac{d^3}{2,22^3} \cdot \frac{2050000}{z}, \quad \text{откуда}$$

$$d \cong 0,1z.$$

Зная теперь, что диаметр был 0,502 сант. можно предположить, что радиус шаровой поверхности был около 5 сант.

Результаты и выводы этих весьма интересных и основательно поставленных опытов здесь не рассматриваются, а

сонжки на них приводились в соответствующих местах нашего исследования.

Рассмотрев один способ практического применения прибора „Kuldosa” интересно отметить еще целый ряд возможных случаев использования его. Предоставим в этой части слово самому автору этого метода измерений динамических нагрузок. Проф. Крейгер считает, что многие вопросы технической области могут быть освещены и даже решены путем приложения теории в связи с практическим применением кульдоз.

Как сила удара, так и статическая сила могут быть измерены этим прибором, при незначительных нагрузках представляется возможным применять для сферической части прибора каучук вместо стали. Наоборот, в тех случаях, когда ожидаются очень большие нагрузки, можно для соприкасающихся поверхностей с пользой взять вместо шара цилиндр, что уменьшит напряжение на контуре давления, последний в этом случае вместо круга будет иметь форму прямоугольника.

Крейгер (Kreiger) отмечает следующие возможные случаи применения кульдозы.

Сравнение взрывчатых веществ между собой можно проводить вполне объективно, взрывая известное количество грамм над прибором, для уменьшения удара (разрушительного эффекта) было бы уместным применять какую либо тушащую прокладку, конечно для всех взрывов.

Действие молота (копра), по знаку можно определять отсчетом Кульдозы в сочетании с данными теории.

Исчислится возможным уточнение вопроса о запасе прочности в мостовых сооружениях, равным образом и действие ударов машин на различного рода фундаменты. Действие удара движущего тела может измеряться установкой кульдозы в точке удара, напр. удар. льдины по стенке судна и т.д. Резкое натяжение троса может измеряться

соответствующим введением кульдоз.

Действие удара вода по молу или дамбе на различной высоте может определяться путем установки кульдоз в водонепроницаемых корпусах под досками с известной площадью, воспринимающей удар. Вместо законченной поверхности в этих случаях можно применять тонкие медные листы. Этот способ вообще рекомендуется при производстве подводных опытов. Можно привести еще много других проблем, мы напр. добавим определение давлений на пределе сферы разрушений, но и перечисленных уже достаточно для примера.

Кульдоза находит также широкое применение и при статической нагрузке.

Для измерения силы нажатия домерата прибор вводится между домератом и нажимаемым предметом. Диаметр отиска показывает максимальное усилие, имеющее при этом место.

Можно вообразить себе подобное же устройство и при блоках или рычагах.

Если бы можно было измерять диаметр отиска, без того, чтобы разбирать кульдозу, то можно было бы построить испытательную машину для малых скатий при помощи винтового устройства.

Только что отмеченная необходимость разбирать прибор после каждого измерения является, конечно, некоторым недостатком, а поэтому вполне понятно стремление избежать этого. С этой целью производились опыты с пропусканием электрического тока через соприкасающиеся поверхности.

Электрическое сопротивление изменяется при колебании размеров поверхности соприкосновения и применяя очень тонкую пластинку с большим сопротивлением, расположенную между плоской и сферической поверхностями, можно было бы оценивать величину поверхностей соприкосновения; однако, вполне удовлетворительного метода без покрывания поверхности (плоской) слоем копоти и без разборки кульдоз, достигнуть не удалось.

Затем Крейгер еще отмечает некоторые технические вопросы, которые можно разрешить при помощи кульдов, так напр. сложная проблема распределения сил реакции у прямоугольной или эллиптической плиты, свободно опертой по периметру, при центральной или эксцентрической нагрузке, может быть решена размещением кульдов по краям. На случай возникновения реакций с обратным знаком, приборы устанавливаются с обеих сторон и снабжаются соответствующими приспособлениями для обратного давления.

Подобные опыты кажется производились с применением деревянных жестов у опорных частей с отсчитыванием их деформаций. Зная чувствительность дерева по отношению к влажности, а также трудность получения из одного куска дерева частей с одинаковыми модулями упругости, можно видеть, что применение кульдов, сделанных из однородного материала и работающих с большой точностью, должно считаться большим шагом вперед.

Давление внутри земляной массой, а равно активное или пассивное давление земли может измеряться соответственно установленными кульдозами.

Распределение давления в сводах, колоннах, бетонных балках и т.п. может определяться при помощи кульдов.

Как мы видим имеется целый ряд весьма интересных применений кульдов, но прав, безусловно, проф. Крейгер, ожидая при практическом подходе ко всем этим опытам целый ряд трудностей, которых трудно предусмотреть, но во многих случаях этот путь может дать ответ на некоторые, до сих пор неясные и не решенные вопросы.

Этот прибор отличается тем, что он объединяет в себе и приемную и регистрационную части, это заставляет при каждом измерении разбирать прибор, но зато его тарирование значительно устойчивее многих других приборов, есть приборы с совершеннейшей электрической ре-

гиотрацией, не требующие тарирования перед каждым измерением.

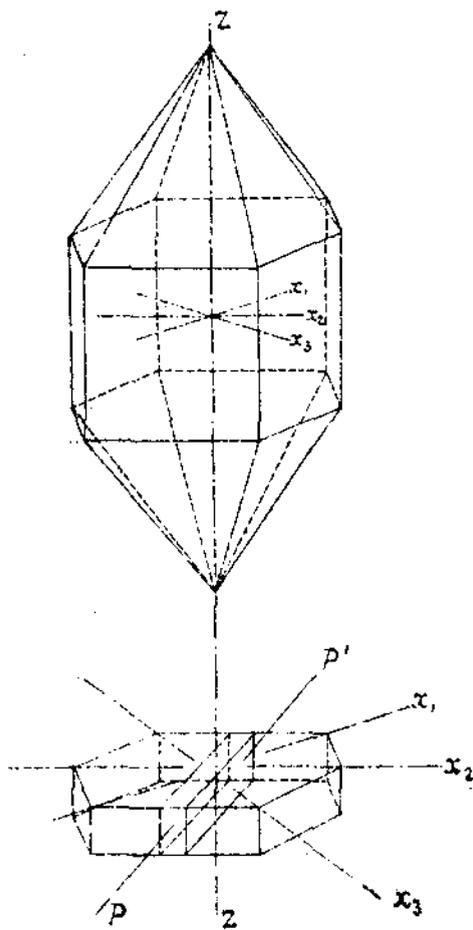
Перейдем теперь к детальному рассмотрению второго приема измерения динамических нагрузок, имеющего большее будущее, пьезоэлектрического.

Пьезоэлектрический метод основан на свойствах некоторых кристаллов, преимущественно кварца, освобождать некоторое количество электричества под давлением. Это так называемое пьезоэлектрическое явление было обнаружено уже давно (впервые в 1817 году). Но есть указания, что подобные свойства турмалина были обнаружены еще в 1703 г. в Голландия, но подробно это явление рассмотрели братья Кюри (1880 г.). Схема их опытов была такова: основания призмы, вырезанной из турмалина так, что ребра ее параллельны оси кристалла, снабжаются металлическими обкладками, которые соединяются с квадрантами электрметра. Давление, производимое на основании призмы, вызывает отклонение электрметра, и по прекращении давления электрметр возвращается в начальное положение ^X, при чем пьезоэлектрический эффект оказывается пропорционален давлению.

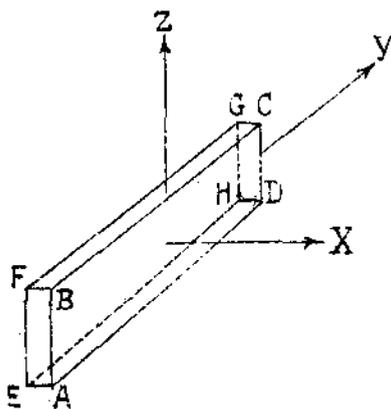
Теория пьезоэлектричества особенно широко разработана физиком Фойгтом.

Для практических целей наибольшее применение нашел кварц (SiO_2), благодаря значительным пьезоэлектрическим свойствам и большой механической прочности. В отличие от турмалина кварц, кроме основной оптической оси Z (черт. 83) имеет еще три (x_1, x_2, x_3) полярных электрических осей, лежащих под 60° в плоскости, перпендикулярной к оси Z . Кристаллы кварца представляют из себя шестигранную призму, ограниченную двумя пирамидами. Под давлением такой кристалл не выявляет никаких электрических свойств, причина этому лежит в симметрии

Успехи физических наук "Статья Великова", стр.222
1923г. выд.2, Том УШ.



Черт. 83.



Черт. 84

кристалла. Пьезоэлектрические свойства можно получить, если из кристалла кварца вырезать четырехгранную прямоугольную призму так, чтобы ее широкие грани были перпендикулярны к одной из электрических осей (x), а оптическая ось (z) была бы перпендикулярна плоскости, ограниченной наиболее длинными и наиболее короткими ребрами пластинки (черт. 83). Если теперь сжимать пластинку в направлении оси x , то на гранях перпендикулярных оси возникнет электричество (равноименных знаков). Есть взаимный пьезоэлектрический эффект, под этим понимаются деформации кристалла (сжатие и растяжение) под влиянием приложенного электрического заряда.

Согласно Фойгту кристаллическая группа, к которой отно-

онтоя кварц, имеет лишь 5 пьезоэлектрических модулей, отличных от нуля.

Численные значения их в единицах CGS таковы:

$$\begin{aligned} \delta_{11} = -\delta_{12} = -\frac{1}{2}\delta_{26} &= -6,36 \cdot 10^{-8} \quad (\text{Квольсон дает } 6,32 \cdot 10^{-8}); \\ \delta_{14} = -\delta_{25} &= 1,69 \cdot 10^{-8} \end{aligned}$$

Количество электричества, возникающее на гранях ABCD (см. черт. 34) при продольном эффекте, т.е. при давлении вдоль оси x , $q = -\delta_{11} \Gamma$ (Γ - сила, действующая на площадь ABCD) при поперечном эффекте, т.е. при давлении вдоль оси y на грани ABCD возникает количество электричества $q' = \delta_{14} \frac{L}{a} \Gamma$, где L - длина пластинки, a - ее толщина, Γ - сила, приложенная к грани ABFE. При этом сила Γ берется в динах, тогда q получается в CGS электростатических единицах. Из общих сведений о кварце отметим еще, имеющую значение для ее чувствительности к внезапным нагрузкам, собственную частоту упругих колебаний пластинки.

Собственная частота может быть определена по формуле $f = \frac{1}{2l} v$, где v - скорость распространения колебаний, равная $545 \cdot 10^3$ см/сек., а l - в сантиметрах размер пластинки. Собственная частота круглых пластинок, как обнаружил Гунд, может быть определена по формуле

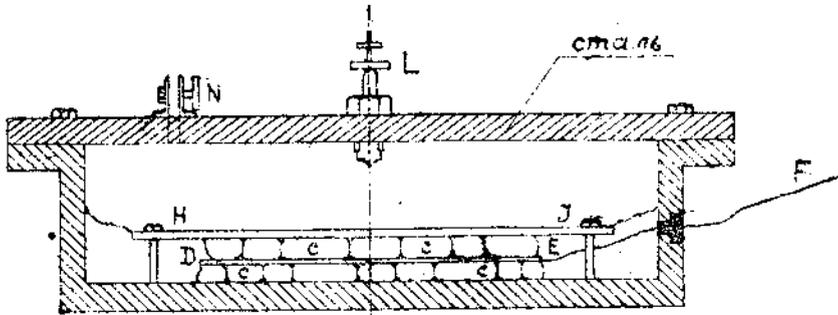
$$f = \frac{2870}{a}; \quad f_1 = \frac{2715}{D}; \quad f_2 = \frac{3830}{D},$$

где f - частота в килоциклах (число периодов в секунду),

a - толщина диска, а D - его диаметр в мм.

Вот эти свойства кварца и других кристаллов использованы в пьезоэлектрическом методе измерения динамических нагрузок. Установка для практического применения этого метода должна состоять из приемника и регистрирующего прибора. Рассмотрим, имея ввиду это, отдельные осуществленные установки.

Thomson предложил установку на приемной части, состоящей из кристаллов турмалина и регистрирующей части в виде катодного осциллографа. Эта установка была применена для определения величин давления от взрыва в воде. Приемник состоял из металлической коробки (черт. 85), ко-



(Phil. Mag. Oct. 1921)

Черт. 85

робка перекрыта стальной плитой, прибитой 13 болтами. В середине плиты имеется приспособление для воспламенения газа и в N для впуска газа. Кристаллы турмалина (с) имеют толщину 1 сантиметр.

Покрты она железной пластинкой HJ. Кристаллы так смонтированы, что стороны с положительными зарядами прижимают к свинцовой пластинке DE. Железная пластинка скреплена 3-мя болтами с дном коробки. Пространство вокруг кристаллов заполнено вазелином. Пластинка DE связана с изолированной медной проволокой (для присоединения к осциллографу).

При производстве давления на пластинку HJ, пластинка DE получает заряд, величина коего будет пропорциональна всему давлению испытываемому кристаллами, здесь нужно отметить, что давление со всех сторон могло быть воспринято турмалином, кварц как мы уже видели требует направленного давления.

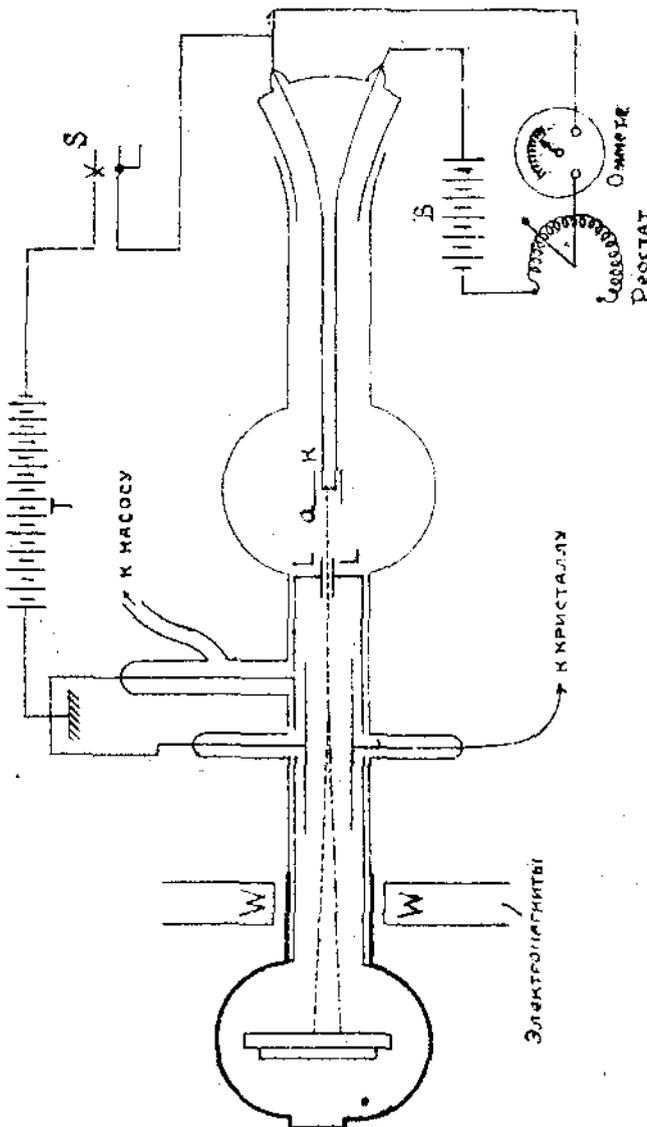
х) Philosophical Magazine 1921 oct.

Прежде чем перейти к рассмотрению регистрирующего прибора взятого здесь в виде катодного осциллографа, кратко ознакомимся с сутью подобных приборов.

Исследования кривых тока и напряжения неустановившихся режимов (мгновенные изменения) могут надежно производиться только приборами, не обладающими инерцией и собственным периодом колебаний. Таким прибором-осциллографом безинерционным является трубка Брауна (1897г.) и ее дальнейшие конструктивные видоизменения.

Работы по ее усовершенствованию шли в двух направлениях: с одной стороны стремились добиться регистрации изучаемого явления на фотографической бумаге или пластинке (J.J. Thomson, A.B. Wood, Dufour, A.A. Чернышев), с другой стороны шли усовершенствования трубки Брауна, сохраняя ее особенности, в том числе малую приспособленность для фотографической регистрации (Samson, Keys, Hull, Johnson). Вторые конструкции скорее нужно было бы назвать осцилоскопами, а не осциллографами. Для наших целей, измерения мгновенных изменений, конечно, могут найти применение только первые приборы. В этих приборах в качестве подвижной части использован пучок катодных лучей, т.е. потока электронов, отрывающихся от катода и несущихся далее по прямой линии с громадной скоростью. Этот поток электронов подчиняется общим законам электрического тока, т.е. может быть отклонен воздействием электрического или магнитного поля. Катодный поток может быть получен двумя способами: 1) при холодном катоде и очень высоком анодном напряжении и 2) при раскаленном катоде (оксидированная платиновая нить) и сравнительно низком анодном напряжении (до 10кV). Сообразно этому катодные осциллографы разделяются на две группы и затем они еще делятся на осциллографы для изменения тока (с катушками) и осциллографы для записи кривых напряжений (с конденсаторами).

Всякий катодный осциллограф (черт. 86) состоит из катода, анода, записывающей части (экран, пластинки или кинофильма) и управляющих органов (катушек, реостатов, конденсаторов, батарей, насосов и т.п.). Большинство этих частей расположено в стеклянном вакуумном баллоне или в латунных цельнотянутых трубах. Раскаленный катод К в виде нити, накаливается от аккумулятора В . На анод дается напряжения от второй батареи Т , минус которой соединяется с минусом батареи накала.



Черт. 86

Накал нити регулируется реостатом. Катодный пучок фокусируется либо специальными катушками, либо изменением конструкции анода, отверстие которого делается в виде тонкой длинной трубки, направляющей поток. К пластинкам конденсатора прикладывается напряжение от измеряемого тела, которое отклоняет поток, он получает некоторое смещение. Основное уравнение, связывающее величину перемещения светящейся точки на экране с величиной электрического поля создающего отклонения и скоростью электронного потока, было выведено еще Дж. Дж. Томсоном.

В применении к осциллографу это уравнение имеет следующий вид:

$$h = \frac{e E a}{m v^2 d} \left(l + \frac{a}{2} \right),$$

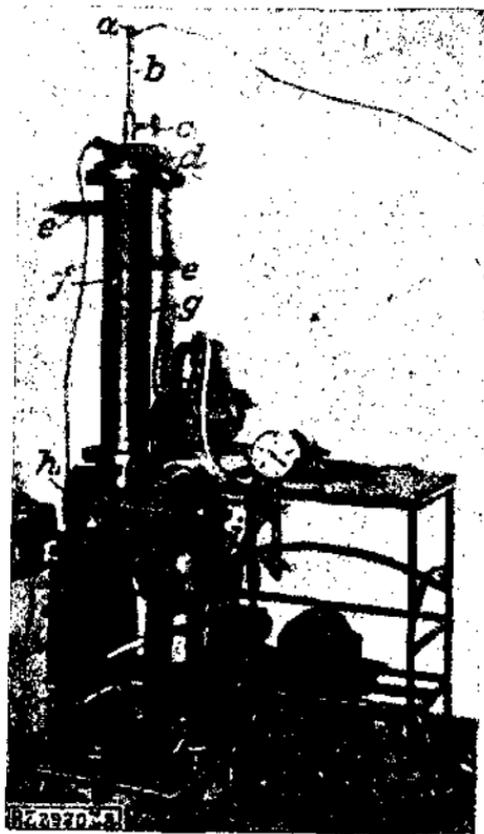
- где h - отклонение,
 " E - амплитуда напряжения между пластинками конденсатора,
 " a - длина пластин конденсатора,
 " v - скорость электронов,
 " d - расстояние между пластинами,
 " l - расстояние от конденсатора до экрана и
 " $\frac{e}{m} = 1,772 \times 10^7$ э.м. магнит. единиц.

Это уравнение показывает, что величина отклонения должна меняться пропорционально напряжению на пластинках конденсатора (линейная зависимость), что весьма важно для точности наблюдений.

(Сложной частью является камера с пластинками или пленками, учитывая необходимость смены пластинок в вакууме.

На фотографии 87 представлена одна из совершенных моделей катодного осциллографа ^{x)}

- Здесь a - катод,
 b - труба разрядки,



Фиг. 87.

- c - регулятор давления,
- d - катушки для фокусирования катодного пучка,
- e - вводы к отклоняющим пластинам конденсатора,
- f - смотровое окно,
- g - труба осциллографа с вакуумом,
- h - фотокамера,
- i - поворотное устройство для пришлифованной конической камеры,
- к - вакуумный насос.

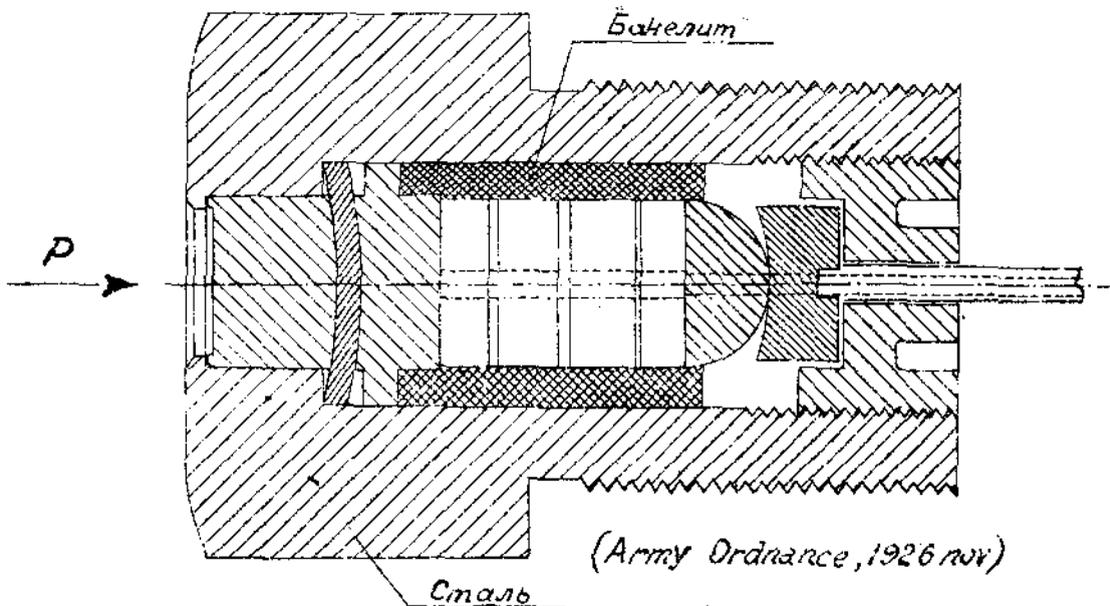
Вернемся к схеме нашего осциллографа, примененного Томсоном - горизонтальное отклонение дает в нем величину измеряемого давления, а вертикальное отклонение дает ось времени.

Ключ S двойной, он включает вспышку для газа (давление которого измеряется при взрыве) и потенциал осциллографа. катодный поток при нажатии на ключ S дает на экране (пластине) вертикальную линию. После взрыва ключ освобождается и катодный пучок гаснет.

Таким приемом удалось напр. измерить давление в воде от взрыва 1,02 килограмма нитроглицерина, а именно, на расстоянии 1,8 метра давление измерено 93 кгр/см.² и на расстоянии 2,7 метра - 63 кгр./см.²

Вторая установка описана Eschappat^{x)}, она применяется на Эбердинском полигоне (САСИ) для измерения давлений в канале орудия и для некоторых других целей. Приемник - измерительный прибор состоит здесь из серии кварцевых дисков, специально вырезанных, бакелитовой изоляции, серебряных электродов, поршня, оболочки и пр. (черт. 88)

x) Mech. Eng. 1926. Experiments in Interior Ballistic.



Черт. 88.

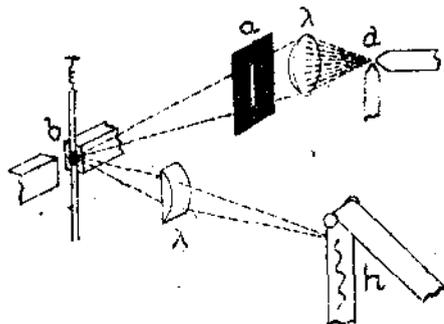
Кварцевые диски под давлением освобождают некоторое количество электричества (большое их число увеличивает это количество), пропорциональное приложенному давлению.

Последнее передается полупарью, что облегчает давление по нормали к плоскостям диска.

Все диски должны освобождать одно и то же количество электричества для постоянства калибрования (тарирования). Диски собраны в приборе, поочередно соприкасающимися сторонами с положительными и отрицательными зарядами и разделены тонкими металлическими пластинками. На последних все положительные соединены к одной стороне прибора, а отрицательные - к другой. Одна часть их присоединена к стенкам прибора, а другая металлически связана с изолированной проволокой выходящей из прибора. Диски помещены в бакелитовое ^{х)} местодение, которое закрыто с каждой стороны и заделано ^{к)} Бакелит - нечто вроде смолы, изолирующей вещество, из него отливают электротехнические изделия

воздухи, так что не возможен доступ к ним сморости или масла, которые могли бы помешать работе прибора.

Регистрирующая часть установки в этих опытах состояла из гальванометра высокой чувствительности, связанного с зеркальцем, которое отбрасывало луч света на пленку фильма. Устройство это состоит из следующего (черт. 89):



Черт. 89.

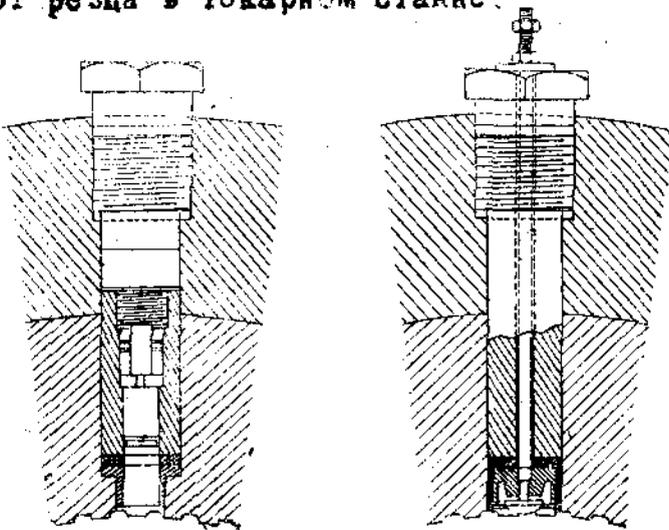
Электрическая дуга a дает интенсивный световой пучок, который собирается чечевицей λ , пропускается для сузивши через щель экрана a и попадает на зеркальце b осциллографа. Зеркальце помещается в фокусе линзы λ . Отразившись от зеркальца, пучок попадает на вторую линзу λ , собирается и фокусируется в виде яркой точки на фотографической пленке h большой чувствительности. С помощью моторчика дуга передвигается или пластинка падает от собственного веса и на ней зайчик при спокойном состоянии пленки осциллографа оставит след в виде прямой линии. При измерении пучок будет отклоняться в перпендикулярном к этой линии направлении.

На фотографии 90 представлена одна из подобных записей. Для соответствующего включения измерительных приборов, каждый связан был со специальным контактом, включавшим прибор (на подобие двойного ключа в опытах Томсона в 1919 г.) по мере движения снаряда в канале орудия (черт. 91)

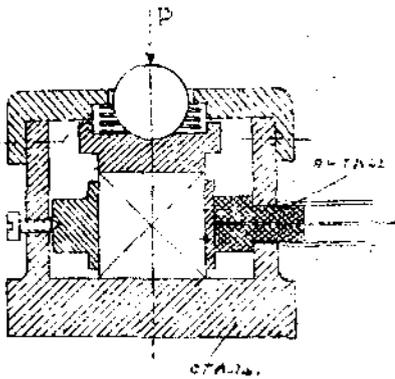
Третий пример использования подобных установок мы находим в статье "Kluge и Link" ^{x)} для измерения

^{x)} V.D.Z. N37 1929c. Piezoelektrische Messungen von Druck und Beschleunigungskräften.

давления от реза в токарном станке.

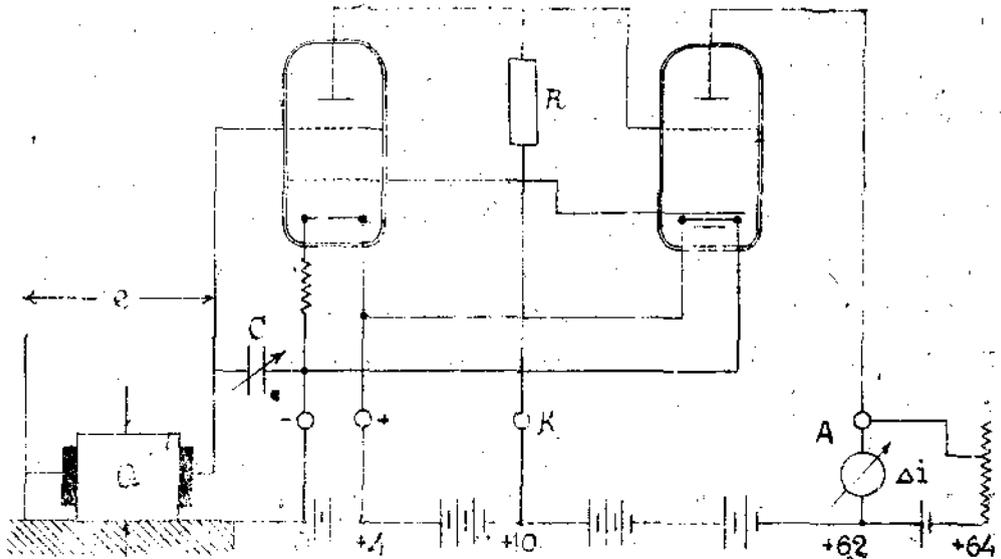


Черт. 91.



Черт. 92.

общее устройство кварцевого приемника видно на черт. 92. В качестве регистрирующей части был использован электростатический трубчатый вольтметр (черт. 93). Здесь Q - кварц, e - разность потенциалов,



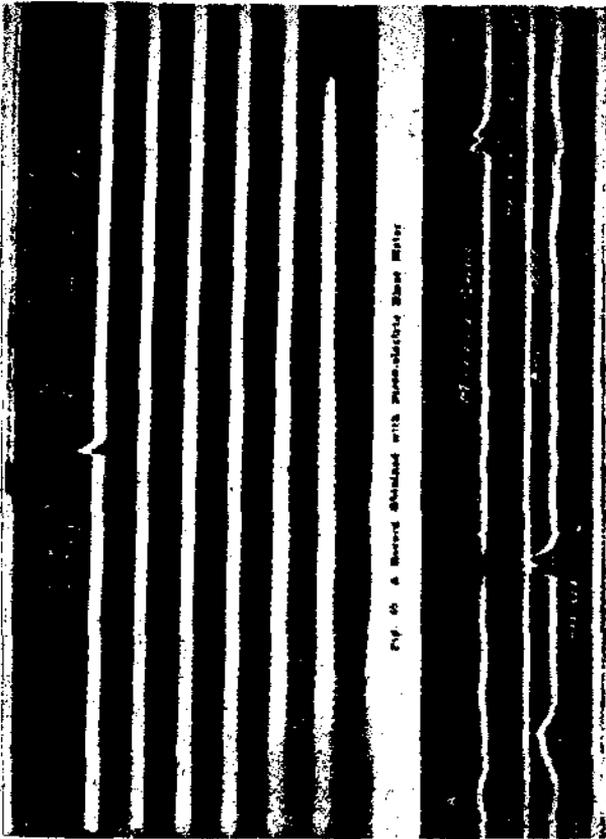
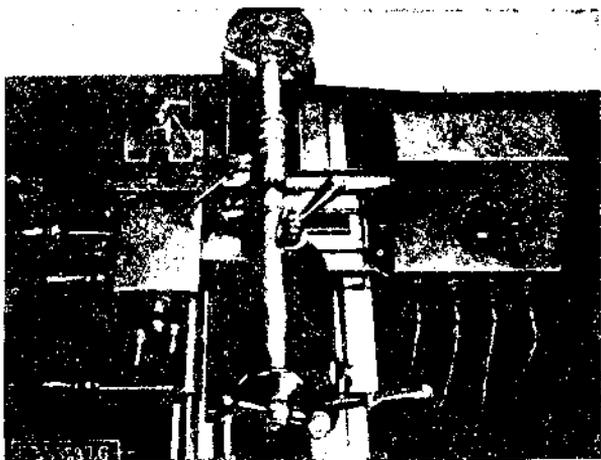


Fig. 6. A record obtained with photoelectric beam meter

Фиг. 90.



Фиг. 94

Н - накаливание, А - анод, К - катод, С - конденсатор, R - сопротивление, Δi - цена переменного тока.

Вторая трубка применяется для усиления изменения потока. Общий вид установки виден на фотографии 94.

Заканчивая на этом рассмотрение пьезо-электрического метода измерений, можно с уверенностью утверждать о возможности построить приемник для измерения давления на пределе сферы разрушения. Огромное преимущество этого метода, несмотря на сложность установки, заключается в возможности изучать исследуемое явление во времени.

Этот уровень измерительной техники позволяет надеяться, что в ближайшее время возможно будет подойти вплотную к определению фактических нагрузок от действия огневых средств поражения. Вполне понятно, что быстро осуществить эти задачи невозможно, сперва необходимы лабораторные исследования для чего в первую голову должна иметься соответствующая оборудованная лаборатория, необходимо сконструировать и проверить измерительную аппаратуру в зависимости от измеряемых нагрузок, а как совершенные все работы должны иметь место полевые испытания. Путь достаточно длинный. Как же быть сейчас. Можем ли мы сейчас иметь суждение напр. о величине нагрузки на подерживающий слой. Нам представляется, что можем и на основе нижеследующих соображений. Закон падения давлений в защитной среде от взрыва обратно пропорционально квадратам расстояний еще сохраняет силу, т.е. зная в каком либо пункте давление, можно его определять на любом расстоянии от места взрыва. Прежде за такое место с известной величиной давления принималось дно воронки (смотри выше - расчет противоточковой толки проф. Дитковича) где давление считалось равным временному сопротивлению материала скатыя.

В настоящее время это положение может быть по целому ряду оснований оспорено, так напр. смелая мысль,

что образование воронки происходит, главным образом, от складывающихся напряжений, с другой стороны Бишля считает, что на дне воронки должно быть давление больше (раз в 10) обычного временного сопротивления стали, так как материал находится в особых условиях, не в кубиках, а в сплошном массиве. Основным же возражением является то, что проверить величину давления на дне воронки экспериментальным путем, по вполне понятным причинам достаточно затруднительно. Поэтому нужно искать другой исходный пункт для определения давлений, но прежде чем это установить, попробуем составить в общем виде выражение для величин нагрузки от взрыва. Отсутствие такого общего анализа и допустило появление некоторых весьма неуклюжественно построенных расчетов.

Посмотрим, от чего зависит величина этого расчетного давления. Во первых отметим, что учитываемая незначительная доля усилия, приходящегося на изгиб от действия удара [см. гл. I], а также огромную разницу между скоростью детонации и окончательной скоростью снаряда, а отсюда и разности во времени действия этих нагрузок, можно считать наиболее опасной - нагрузку от действия взрыва. Ударное действие будет влиять на расчетную нагрузку, изменяя величину интервала разрыва, обозначая последний буквой d , мы можем написать, что искомое на расстоянии d от места взрыва давление P так относится к известному давлению P_1 , определенному на расстоянии d_1 , как квадрат этого расстояния относится к квадрату d , т.е.

$$\frac{P}{P_1} = \frac{d_1^2}{d^2} \quad \text{или} \quad P = \frac{P_1 d_1^2}{d^2}$$

Получили первое приближение расчетного выражения. Давление зависит от пролета, как это уже отмечал и Rochaska, это найдет отражение в составлении эмпирей нагрузок, т.е. выражение P должно давать давление в любой точке и соответственно направленное (гор-

мально), т.е. нужно ввести $\sin \beta$, \sin угла наклона прямой соединяющей центр взрыва, с точкой в которой определяется давление

Давление безусловно зависит от величины заряда, т.е. должно входить с вида C^x , а также от его формы, т.е. должно учитываться μ - расстояние от центра заряда до поверхности, на которой взрывается заряд.

Давление должно меняться в зависимости от материала среды, т.е. должен входить соответствующий коэффициент K , характеризующий сопротивление среды.

На основании всех этих кратких соображений мы получаем, что формула для определения давления от взрыва в любой точке среды может быть выражена следующей формулой в общем виде

$$P = P_0 \frac{[f(C, R)]^2}{d^2} \sin \beta.$$

Постараемся соответственно выбрать входящие в расчетную формулу величины и раскрыть функции.

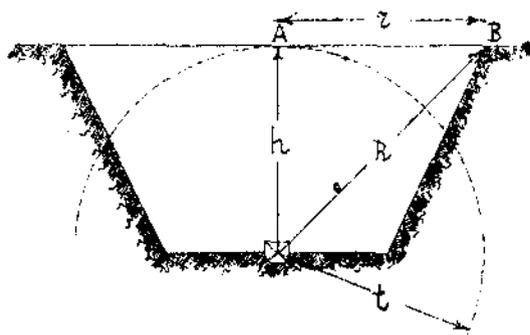
Выбор исходной данной - расстояния с известным давлением, вполне естественно останавливается на сфере разрушения, величине, достаточно хорошо изученной в минно-подземном деле, а главное потому что уже исследования Damburn'a, Cochetoux^{*} определяли сферу разрушения определенной величины давлением на ее пределе.

Для усвоения вопроса предварительно восстановим в памяти основные определения минного искусства; а именно что такое сфера разрушения? Как ее понимать для взрывов, происходящих в различных условиях? Это сфера, характеризующая внутреннее действие взрыва заряда, внесенного в среды, представляющая собой пространство, в котором нарушена связь между частицами. Помимо этой сферы минное искусство различает еще сферу сжатия, на пределе, которой весь материал давлением газов вытесняется (в грунте объем ее в 300 раз больше объема объема заряда Д.В.В.) и сферу сотрясения (область затухающая после

* Mines militaires Cochetoux. 1878г.

бания). Учитывая, что начиная от центра взрыва заряда давления от взрыва падают, сфера разрушения может быть также охарактеризована величиной давления, что будет значительно точнее просто качественного определения этой сферы и действительно дает материал для суждения - является ли для данного объекта то или иное удаление от места взрыва сферой разрушения. Посмотрим теперь достаточно ли эта сфера является величиной постоянной, чтобы можно было строить на ней расчет, как на исходной величине.

Прежде всего произведем сравнительный расчет величины сферы разрушения в условиях взрыва простого горна ($h=z$ смотри черт.95) по нашим и имеющимся иностран-



Черт. 95

ными данными. У нас по наставлению "Подземно-минное дело" для расчетов принимает форму воронки, согласно чертежа, где h - линия наименьшего сопротивления, z - радиус воронки, R - радиус взрыва, расстояние от центра

заряда до края воронки, t - радиус сферы разрушения, равный для простого горна h и z .

Связь между зарядом D , в.в. C кгр. и длиной наименьшего сопротивления h в метрах, а для простого горна и с радиусом сферы разрушения определяется для всех грунтов, время скалывания формулой $C=0,92h^3P$.

Значения P приведены в приложении (см. таблицу 6).

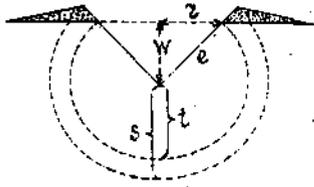
Для грунта скалистого, каменных кладок и бетона соответствующая формула есть

$$C = 0,73 h^3 P.$$

Австрийское наставление "Technische Unterrichts" дает формулу для той же зависимости вида

$$L = qce^3,$$

- где L - величина заряда в кгр.,
 e - радиус взрыва в метрах,
 q - коэффициент, зависящий от величины воронки, от отношения $P = \frac{e}{W}$ (черт.96)
 c - зависит от среды и В.В.



Черт.96.

При условии неполной забивки в эту формулу нужно ввести коэффициент v ^X, при чем

- v - для полной забивки - 1,00
 v - при отсутствии забивки - 2,5.

Значения коэффициентов q следующие по "Т.Н."

q	= 1,00,	когда	$P = \frac{e}{W} = 0,00$	- 1,80
q	= 1,08	"	$P = 1,85$	
q	= 1,17	"	$P = 1,90$	
q	= 1,28	"	$P = 1,95$	
q	= 1,40	"	$P = 2,00$	
q	= 1,53	"	$P = 2,05$	
q	= 1,68	"	$P = 2,10$	
q	= 1,83	"	$P = 2,15$	
q	= 2,00	"	$P = 2,20$	

^X) Minieren. 1891. Handbuch des allgemeinen Pionierdienstes. Berlin. стр.55 и 57.

q	= 2,17	когда	P	= 2,25
q	= 2,36	"	P	= 2,30
q	= 2,55	"	P	= 2,35
q	= 2,74	"	P	= 2,40
q	= 2,95	"	P	= 2,45
q	= 3,16	"	P	= 2,50
q	= 3,37	"	P	= 2,55
q	= 3,59	"	P	= 2,60
q	= 3,81	"	P	= 2,65
q	= 4,03	"	P	= 2,70
q	= 4,25	"	P	= 2,75
q	= 4,48	"	P	= 2,80

По этому же источнику значения коэффициента C следующие, мы выписываем их только для Д.В.В.

Песок	$c = 0,30$
Глинист. грунт	$c = 0,40 - 0,55$
Г л и н а	$c = 0,60 - 0,80$
П е с о к	$c = 0,50 - 0,55$
Каменст. грунт	$c = 0,55 - 0,65$
С к а л а	$c = 0,50 - 0,80$

При вводе в расчетную формулу в качестве исходной величины не радиуса взрыва e , а длины наименьшего сопротивления, то получается старая немецкая формула

$$L = v q u w^3, \text{ где}$$

v - коэффициент, зависящий от забивки имеет прежнюю величину,

q - коэффициент, зависящий от среды и В.В. (в со-
кращенно не имеются данные для Д.В.В.)

u - коэффициент, зависящий от отношения $z:w$.

Для	$z = w$	$u = 1$
	$z = 1,25w$	$u = 1,7$
	$z = 1,5w$	$u = 2,9$
	$z = 1,75w$	$u = 5$

$$z = 2,00w \quad u = 8$$

$$z = 2,25w \quad u = 13$$

$$z = 2,50w \quad u = 18$$

при расчете простых горнов, когда $z = w$ по формулам австрийским получаем

$$l = ce^3 \quad \text{и} \quad l = q\omega^3.$$

Сравнение их не дает одинаковые заряды, как это утверждает ^{x)}Unaz

Spengvorschrift (1911 и 1918г.г.) дает следующую формулу

$$L = w^3cd \quad (\text{формула австр. инженера Hausz})$$

где L - заряд в кгр., w - радиус действия (линия наименьшего сопротивления).

c - коэффициент прочности, зависящий от радиуса w и свойств среды.

d - коэффициент, зависящий от забивки, меняющейся от 1 до 4,5, при хорошей полной забивке

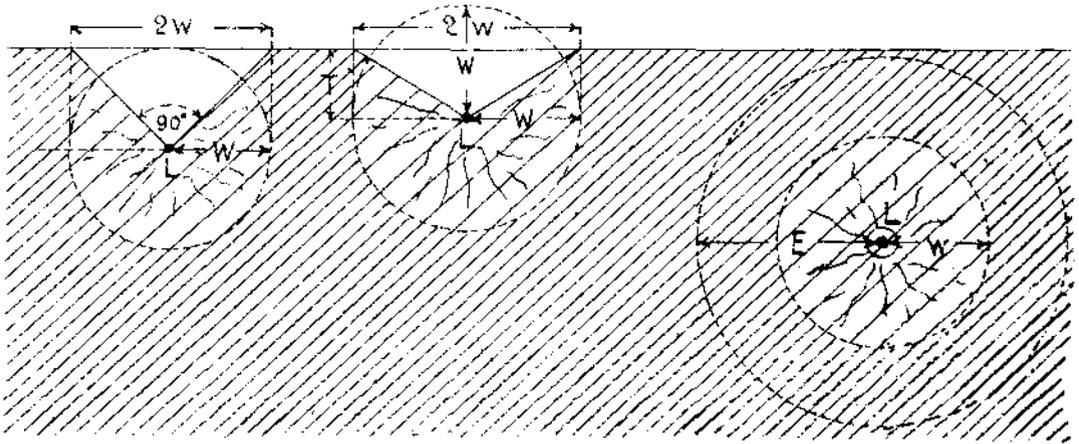
$$d = 1$$

Это наставление различает воронки прямоугольные, когда радиус действия касается дневной поверхности (черт. 97) и тупоугольные, когда он выходит за пределы дневной поверхности, в последнем случае обычно T глубина заложения заряда не менее $w/2$.

Кроме того различает еще заряды для получения сотрясения, а не полного разрушения в этом случае L , (заряд для сотрясения) - $1/8 - 1/3 L_w$ (заряды для получения воронки). $E = 1,5 - 2w$.

Переход от одной сферы к другой мало заметен. Заряды, которые должны на известном расстоянии произвести

x) Mitteilungen über Gegenstände des Artillerie und Geniewesens 1911г.



Черт. 97

сотрясение равны $1/8 - 1/3$ от величины зарядов, которые на этом же расстоянии производят воронку. В скале нужно брать $1/8$, а для стен $1/3$. Значения c в формуле

$$L = w^3 c d \quad \text{следующие}$$

каменная кладка, бетон, скала	
при w до 0,9 метра	$c = 5,0$
при w от 0,9 до 1,5 мт.	$c = 4,0$
" w " 1,5 до 2,0 "	$c = 3,5$
свыше 2,0 метров	$c = 3,0$
В более слабых кладках берется	$c = 3,0$
В щебне и в несвязанных насыпях	$c = 1,0$
В прочих средах	$c = 0,7$

При очень прочных средах нужно эти цифры умножить на 1,3, при хорошем железобетоне на 2.

Характерной особенностью данного расчета является переменная величина c для твердых сред, меняющаяся в зависимости от длины наименьшего сопротивления. Это обстоятельство еще больше подчеркивает D. Stobbe в своей статье "Определение зарядов для больших глубин"^{x)}, а

i) "Errechnen von Minenladungen für grossere Tiefen". Zeitschrift für des gesamte Schiess und Sprengstoffwesen 1927r. N7и8.

именно, что с дальнейшим увеличением W величина коэффициента C должна продолжать падать, так D.Stobbe приводит следующие цифры (по его наблюдениям).

при W от 5 - 10 метров	C от 2,00 до 1,20
" от 10-20 метров	C " 1,2 " 0,7
" " 20-30 "	C " 0,7 " 0,55
" " 30-40 "	C " 0,55 " 0,45
" " 40-60 "	C " 0,45 " 0,4

для скалы.

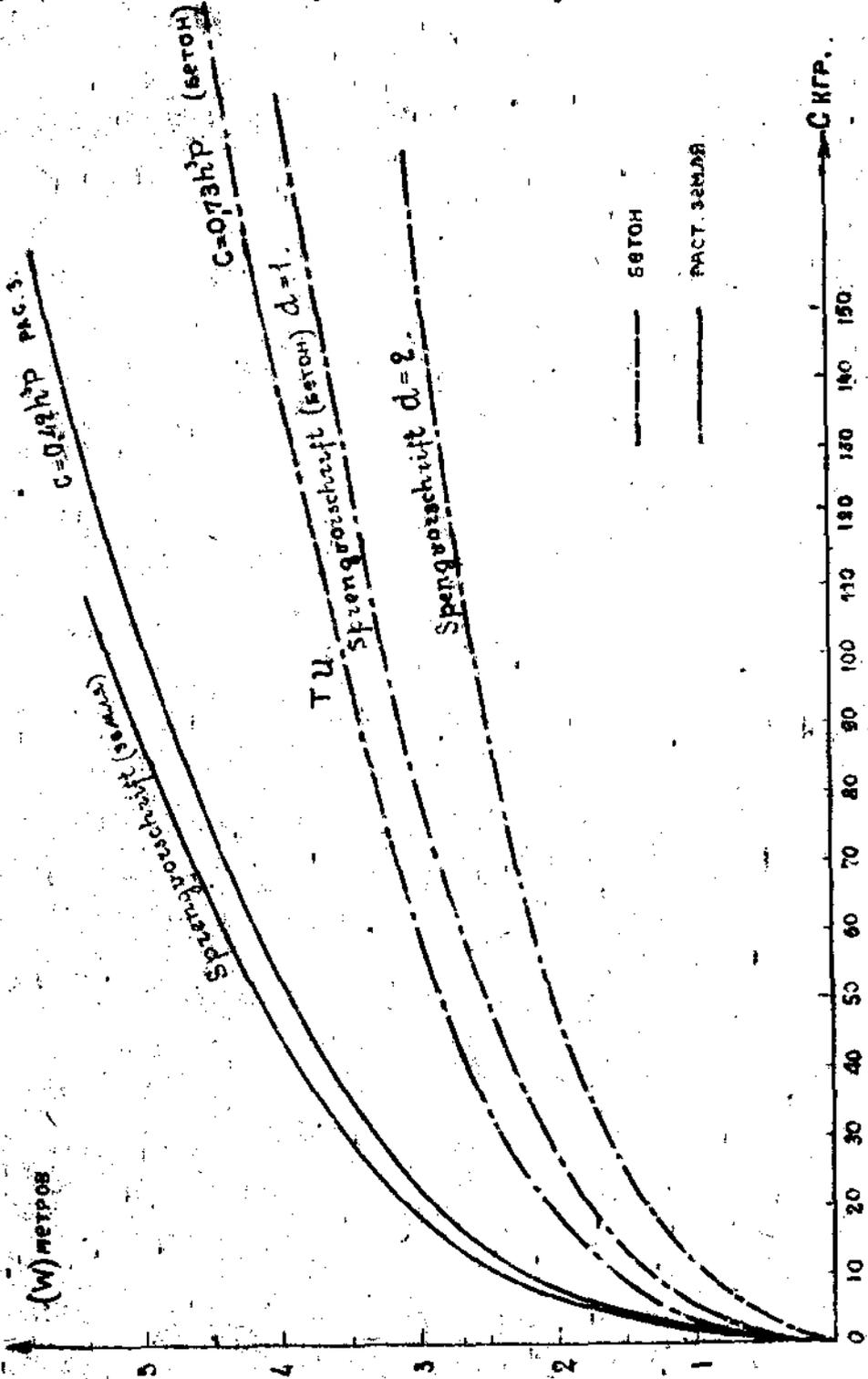
Опыты производились в 1926 г., наблюдать на них действие в глубину, т.е. в противоположную от дневной поверхности сторону, нельзя было, но автор полагает, что очевидно это действие должно быть меньше, чем вперед.

Объяснить эту особенность можно следующим образом. При подземных взрывах Barre^{x)} считает, что энергия взрыва распределяется на три части: 1) работа сжатия грунта, 2) работа поднятия масс земли и 3) работа раздробления и нагревания земли. Это верно для грунтов, но для твердых сред (бетон, скала и т.п.) нужно добавить еще значительную работу на преодоление сопротивления сил сцепления частиц материала между собой. Это сопротивление зависит от поверхностей сцепления, с увеличением глубины расположения зарядов оно растет пропорционально квадратам этого углубления, т.е. несколько замедленнее, чем вес выбрасываемой массы, поэтому и можно ожидать с увеличением глубины некоторого уменьшения коэффициента

Рассмотрение диаграммы (черт.98) сравнительной величины сфер разрушений в земле и бетоне по различным расчетным формулам показывает, что для грунтов, приведенные формулы дают вполне равнозначные результаты, что же касается сферы разрушения в бетоне, то величины, полученные по данным немецкого наставления

x) Comptes rendus des seances de l'Académie des Sciences, 1926. I. Barre, Sur la théorie des fourneaux de mine.

„Sprengvorschrift“ менее таковых по другим источникам, затем получились несколько кривых в зависимости от забивки и условий месторасположения заряда и таким образом показываем, что забивка усиливает действие.



Черт. 98.

Это обстоятельство не вполне увязывается с наставлением "минно-подземное дело", где отмечается для Д.В.В. весьма незначительное влияние забивки, а также с мнением некоторых специалистов, напр. проф. Сухаревского.

Нам представляется, что в этих вопросах нет общего языка, а потому получается разноречивый результат, напр. Nobile в своей статье "Действие снарядов" говорит, что максимальное действие взрыва зависит от силы наименьшего сопротивления, спрашивается, что подразумевается под максимальным действием, радиус сферы разрушения или что-либо иное, оказывается речь идет о максимальном выброшенном объеме земли, а сфера разрушения оставлена вне внимания. При таких условиях очень трудно дать окончательное суждение, нужны новые систематические опыты.

В связи с затронутым вопросом о значении забивки большой интерес представляют опыты, произведенные Абботом с подводными взрывами. Исследуя вопрос о значении углубления заряда в воде, т.е. о влиянии забивки на развиваемые давления Аббот пришел к заключению, что углубление заряда имеет малое значение для действия вниз, на основе следующих двух опытов (черт. 99).^{X)}

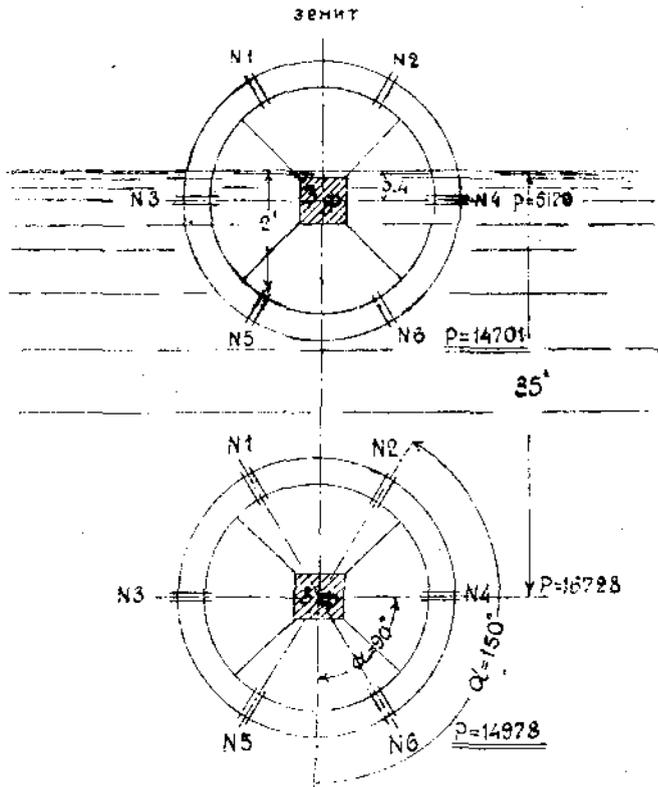
I. Верхнее кольцо и заряд у поверхности воды, крышка корпуса мины - едва прикрыта водой.

II. Опыт. Нижнее кольцо и заряд погружены на 35 фут.

Надписи у номеров манометров - крешеров показывают давления в английских фунтах на кв. дюйм. Исти заряд в I опыте только едва покрыт водой, а во втором углублен на 35' давления, показанные крешерами №5 и №6 почти были одинаковы. Таким образом действие взрыва в сторону донной поверхности оказало различное действие в зависимости от погруженки, а в противоположную сторону действие как бы нестоявшее. Это для нас весьма существенно.

X) Карликовий. Труды Российского Морского Союза.
Сент. Окт. 1908 г.

венное показание, поскольку в наших условиях всегда будет достаточно резко выражена линия наименьшего сопротивления в сторону дневной поверхности (канал, проделанный снарядом), то в противоположную сторону можно ожидать более или менее постоянных результатов. Этим как бы подтверждается независимость действия заряда Д.В.В. от его углубления в среду, положенная в основу некоторых выводов в нашем наставлении "подземно-минное дело". Существует мнение и противоположенное (проф.Коханов), допускающее вышеупомянутую независимость действия только для взрывов в грунтах, но не для скалы и бетона, что, как мы видели подкрепляется отчасти и данными " Spreng-



Черт. 99.

vorschrift " Проф.Коханов говорит следующее: "такой равный подход к одному и тому же явлению, вызван тем, что глубину воронки от взрыва заряда, положенного на скалу или бетон можно точно определить путем расчистки воронки кирками и легким проходом зубила, т.е. для скалы и бетона расстояние от центра заряда до дна воронки при взрыве без забивки равно радиусу сферы разрушения без забивки.

В грунтах же предел расчистки воронок определяется теми внешними границами, которые создаются уплотнением грунта при взрыве; а именно, что эти границы не определяют сферу разрушения". X)

Опять в связи с этим возникает вопрос, что же такое сфера разрушения, здесь необходима большая ясность. Можно ли считать расстояние от центра заряда до дна воронки при взрыве на дневной поверхности за радиус сферы разрушения, мы глубоко убеждены в том, что нельзя. Постараемся разобрать этот вопрос. Уже ранее мы выяснили, что забивка усиливает заряд раза в 3-4, проф.Коханов считает, что забивка действует так, как если бы была взят заряд В.В. в 8 раз больший. Фактически же, если принять положение о равенстве воронки от взрыва на дневной поверхности сфере разрушения при взрыве в среде, то нужно следовательно приравнять

$$z = p + u = K_{вз} \sqrt[3]{C} \quad \text{и} \quad t = K_p \sqrt[3]{C_1}$$

Для бетона $K_{вз} = 0,175$ и $K_p = 0,77$, откуда получим,

$$\text{что } 0,175 \sqrt[3]{C} = 0,77 \sqrt[3]{C_1} \text{ и } C = \left(\frac{0,77}{0,175}\right)^3 C_1,$$

т.е. $C = 85 C_1$. Таким образом получилось, что забивка позволяет уменьшить заряд в 85 раз, явно невозможный результат, т.е. эти величины (сфера разрушения и воронка) не одно и то же.

X) Проф.Коханов. Технические средства защиты при воздушномобороне транспорта. 1927 г. стр.40

Вообще со сферой разрушения вовсе нет необходимости связывать какое то сплошное разрушение среды, в которой происходит взрыв, ведь понятие это появилось из манного искусства, минной войны, оно скорее связано с разрушением посторонних объектов, попавших в среду (например галлерей). Очень характерно это обстоятельство подчеркнуто наставлением австрийским *Technische Unterricht*, где дается следующая таблица значений радиусов сфер безопасности s и сфер разрушения t .

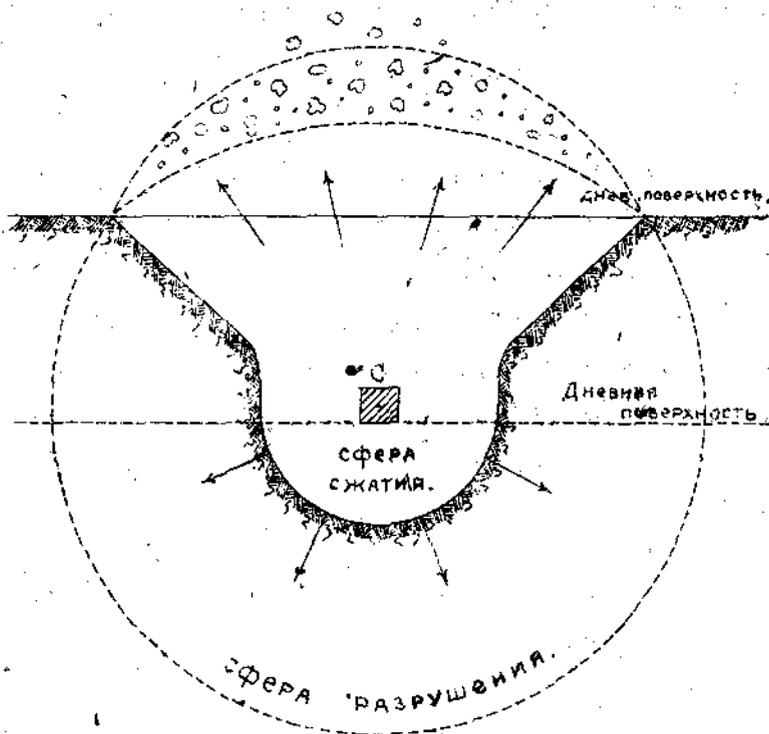
$s = 1,40$ до $1,60$ e	}	для галлерей одетых деревом
$t = 1,20$ " $1,40$ e		
$s = 0,80$ до $1,25$ e	}	для каменных галлерей
$t = 0,70$ " $1,10$ e		

Вполне очевидна сущность понятия сферы разрушения. Сфера разрушения, сфера с определенным действием имеет место при всяком взрыве, но что же тогда воронка от взрыва на дневной поверхности. Если вспомнить, что кроме сферы разрушения имеется сфера скатия (черт. 100), при чем для Д.В.В. она занимает в грунте об'ем в 300 раз больший об'ема заряда, то нам представляется, что сфера скатия гораздо ближе подходит к видимой воронке. Прделаем один числовой пример. Возьмем заряд Д.В.В. в 10 кгр., об'ем такого заряда равен $20 \times 25 \times 25$ см. Произведем взрыв его на поверхности земли (плотный грунт). Глубина воронки $r = k_{вз} \sqrt[3]{C} - u = 0,53 \sqrt[3]{10} - 0,10 = 1,04$ мт.

Определим теперь об'ем сферы скатия, об'ем заряда равен 12500 сант.³, умножая его на 300 получим об'ем сферы скатия в 3750000 сант.³, откуда, радиус этой сферы $r = 0,62 \sqrt[3]{U} = 0,62 \sqrt[3]{3750000} = 96$ сант. = 0,96 мт. Величина близко подходящая к глубине воронки.

Как вывод из всего анализа выскажем следующее: как для грунтов; так и для твердых сред величина сферы разрушения достаточно постоянна и определена, некото-

рое колебание в зависимости от забивки отпадает, имея в виду оболочку снаряда, пользование этой величиной дает преимущество, благодаря наличию обширного материала.



Черт. 100.

Остается теперь установить величину давления на пределе этой сферы.

Еще в 1873 году Dambville^{x)} предложил следующий расчет, принятый во Франции и Италии (в последней и сейчас имеется в этом подтверждение, благодаря статье полк. Романа)^{xx)}.

Dambville считает, что действие пороховых газов передается концентрически сферическими зонами. На расстоянии радиуса взрыва (R), по его мнению, давление на квадратный сантиметр равно давлению атмосферы = 1,033 кгр/см².

x) Etude sur les effets des mines militaires.

xx) Rivista. d'artiglieria e di Genio 1927 N 5.

На некотором расстоянии d от центра заряда, давление будет $P = 1,033 \frac{R^2}{d^2}$. Отсюда зная, что для простого горна радиус взрыва связан с радиусом сферы разрушения следующим образом: $R = h\sqrt{2} = h 1,41$ можно определить давление на пределе сферы разрушения, а именно

$$P = 1,033 \frac{R^2}{d^2} = 1,033 \frac{h^2 \cdot 1,41^2}{d^2} = 2,066 \text{ кгр/см.}^2$$

В 1878 году появлялось обширное исследование Cochetoux, также затронувшее величины давлений сперва теоретическим их выводом, а затем проверкой многочисленными опытными данными. Не приводя здесь подробных выкладок, которые можно найти в подлиннике и в сокращенном виде в статье инж. Китаева ^{xx)} о действии пороха и бризантных веществ, отметим конечные результаты, а именно давления на конце линии наименьшего сопротивления h .

При	$n = 1$	давление	$x = 3,41$ кгр/см. ²
	$n = \sqrt{3}$ ($n = \frac{2}{h}$)	"	$x = 4$ " "
	$n = 2$	"	$x = 4,236$
	$h = 3\sqrt{2}$	"	$x = 5$ " "
	$h = 3$	"	$x = 5,162$ " "
	$h = 4$	"	$x = 6,123$ " "

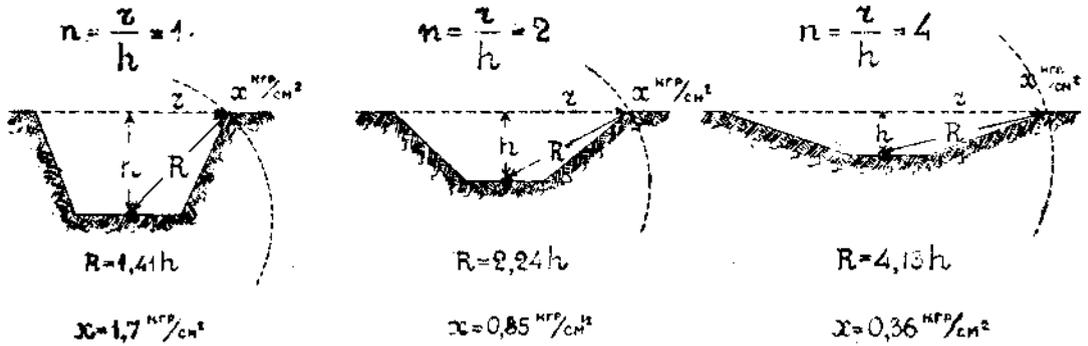
Cocheteux дает несколько большие давления, несмотря какое давление при этом будет на конце радиуса взрыва, получить эту данную тем более интересно, что Dambryll считает это давление постоянным. Расчет вѣден, как и выше на основе положения, что давления в двух точках обратно пропорциональны квадратам расстояний до центра, т.е.

$$\frac{R^2}{h^2} = \frac{3,41}{x} \text{ (простой горн).}$$

x) Etudes sur les mines militaires. Cochetoux. 1878 г.

xx) Инж. журнал 1891, г. № 12.

Выражая затем в каждом случае R через h , мы получаем следующие результаты (черт.101).



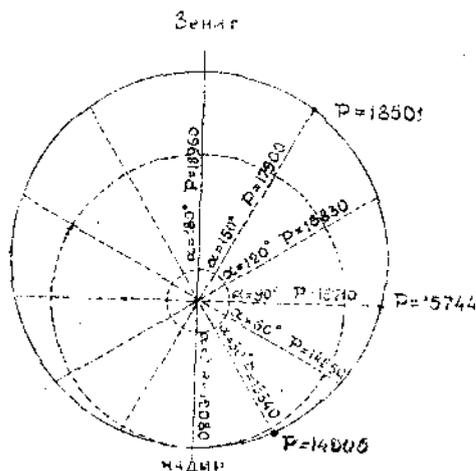
Черт.101.

при $h = 1$	на конце	радиуса	взрыва	R	давл.	$1,7 \text{ кг/см.}^2$
$h = 2$	"	"	"	R	"	$0,85$ "
$h = 4$	"	"	"	R	"	$0,36$ "

Эти величины соответствуют вышеприведенным опытам Аббота, а именно уменьшению давления в горизонтальной плоскости при уменьшении глубины погружения (показание в верхнем кольце у манометра № 6170 англ.фунт., а у того же манометра в нижнем кольце 16728) и подтверждают существенный вывод Аббота о характере изменения давления от взрыва в вертикальной плоскости, чем ближе к линии наименьшего сопротивления (в воде - вертикаль), тем давление больше. (черт.102)

Поскольку выводы Аббота были сделаны на основании многочисленных опытов, то совпадение данных Cochetoux с ними, а также подтверждение их на целом ряде взрывов в грунтах, дает основание считать Cochetoux вниман-

ними доверие.



Давления на сплошной черте получены из 180 наб.
Пункты даны вычисления по формуле Адегги:

$$P = \sqrt[3]{\frac{10038 (\alpha^2 + E) C \cdot z}{(1 + 0,01) \cdot z}}$$

Глубина погружения постоянная

Черт. 102.

запа прочности, то на ее пределе берем давление, близкое к верхнему пределу, а именно 3,25 кгр/см², для сферы разрушения в твердых средах (бетон, скала), где обнаружилось, что наша формула дает больший результат чем формула Sprengvorschrift'a даже при учете поправки, совершенной заблужки, т.е. она дает некоторый запас, берем давление близкое к нижнему пределу, а именно 2,25 кгр/см².

Пользуясь формулой наставления "Минно-подземное дело"
 $C = 0,73 h^2 P$ и $C = 0,92 h^2 P$ можно определить длину наименьшего сопротивления, т.е. и радиус сферы разрушения подучаем

$$h^3 = \frac{C}{0,73P} \text{ и } h = \sqrt[3]{\frac{C}{0,73P}}$$

Приведенный материал дает для давления на пределе сферы разрушения две цифры - 2,066 кгр/см² и 3,41 кгр/см², не имея возможности до опытной проверки категорически отдать преимущество одной из этих цифр нам представляется их использование в следующем виде: поскольку величина сферы разрушения в грунтах есть величина достаточно определенная и постоянная, без явного за-

соответственно $h = \frac{\sqrt[3]{C}}{\sqrt{0,92P}}$. Придерживаясь принятых у нас обозначений (радиус сферы разрушения - t , коэффициент податливости среды разрушения K_p , равный

$$\frac{1}{\sqrt{0,92P}} \text{ или } \frac{1}{\sqrt{0,73P}}) \text{ получаем окончательно}$$

$$t = K_p \sqrt[3]{C},$$

где t - радиус сферы разрушения в метрах.

K_p - коэффициент, определяемый из вышеприведенных выражений (значения его приведены в приложении) и

C - заряд ВВ в кгр.

В таком виде эта формула была впервые дана проф. Кохановым.

Зная, что на пределе сферы разрушения в бетоне давление будет порядка $2,25 \text{ кгр/см.}^2$, можно определить давление P в любой точке, отстоящей на расстоянии d следующим образом

$$\frac{P}{2,25} = \frac{t^2}{d^2} \quad \text{откуда } P = 2,25 \frac{t^2}{d^2} \quad \text{или}$$

$$P = 2,25 \left(\frac{t}{d} \right)^2 \quad \text{подставляя вместо } t$$

его выражение получим $P = 2,25 \left(\frac{K_p \sqrt[3]{C}}{d} \right)^2$.

Сравнивая его с составленным в общем виде выражением мы видим, что все факторы, оказывающие влияние сюда вошли, значение формы (u) также учитывается, так как радиус сферы разрушения отсчитывается от центра заряда, остается только добавить $\sin \beta$.

Вот это выражение позволяет определить нагрузку от действия снаряда или аэробомбы на поддерживающий слой и таким образом рассчитать защитное потолочное покрытие.

Последовательность расчета следующая. Сначала определяются размеры местных деформаций - глубина воронки от удара ($l = K_n \frac{P}{d^2} v \cos \alpha$ или $\frac{P}{\lambda} K F m$) и глубина воронки от взрыва ($P = K_{BS} \sqrt[3]{C} = u$), необходимо с одной стороны для определения положения снаряда перед

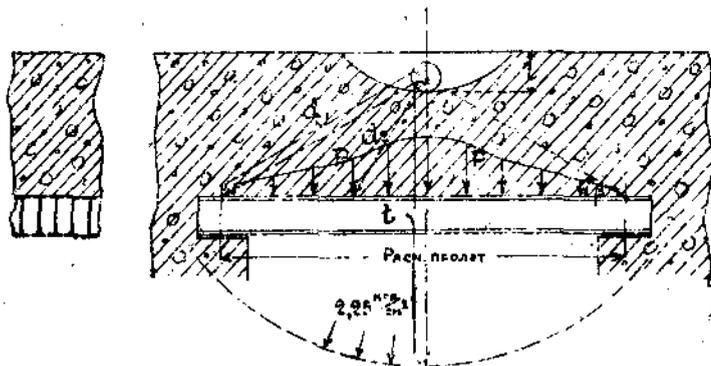
взрывом, а с другой для выяснения изменения поперечного сечения покрытия (уменьшенная профиль).

Зная положение снаряда (лежа на дне воронки) или аэробомбы (обычно лежа на внешней поверхности покрытия x^1), можно определять давление от взрыва на поддерживающий слой, строя эпюру нагрузок (черт. 103) на основе вычисленных по формуле

$P_{\text{см}}^{\text{нр}} = 2,25 \left(\frac{t}{d}\right)^2 \sin^2 \beta$ давлений, а расчетная нагрузка будет равняться собственному весу плюс нагрузка по эпюре.

$$t = K_r \sqrt{C}$$

$$P_{\text{см}}^{\text{нр}} = 2,25 \left(\frac{t}{d}\right)^2 \sin^2 \beta.$$



Черт. 103.

В случае когда поддерживающий слой составляет одно целое с покрытием, напр. двутавровые балки, установленные с промежутками, может возникнуть вопрос, в какой плоскости строить эпюру нагрузок. Благодаря тому, что давление образуется в результате волнообразного распространения энергии, то оно сказывается там, где встречает это распространение преграду, поэтому в этом случае давление определяется в плоскости прокладок из котель-
 2) Будет выяснено в примере.

ного железа, в случае железобетонного свода условимся определять давление в плоскости верхней части свода или плиты. Дальнейший расчет прочих размеров производится на основе правил строительной механики, учитывая местные деформации ($M \neq R_w$).

За геометрическую схему расчета принимается балка свободно лежащая на двух опорах, что должно дать известный запас прочности. при настоящем расчете, выведенном вне зависимости от конкретного типа постройки, т.е. построенном не на основе "обратного метода", эта схема дает действительный, реальный запас.

Это же обстоятельство позволяет нам свободно пользоваться расчетными формулами строительной механики и расчетом железобетонных конструкций.

Вопрос, который может возникнуть при расчете это относительно жесткости сечения (EJ), зависящей от того, как рассматривать защитное покрытие, является оно железобетоном, как бы однородным телом, работает ли железо и бетон раздельно, или же, как это предполагал *Leithner*, что работают только одни балки (арматура), а бетон лишь передает и распределяет усилия. Не углубляя сейчас этого вопроса, тесно связанного с особенностями конструкций, отметим, что для уточнения этого вопроса тоже могут быть приведены опыты по определению жесткости покрытия, путем действия на него статической нагрузки и измерением получающихся прогибов, тогда EJ можно определить из уравнения
$$EJ = \frac{5}{384} \cdot \frac{Pl^4}{y}$$

Для практического пользования расчетом мы принимаем EJ схему напряженности, т.е. что арматура работает в растяг. зоне, а бетон в сжатой зоне.

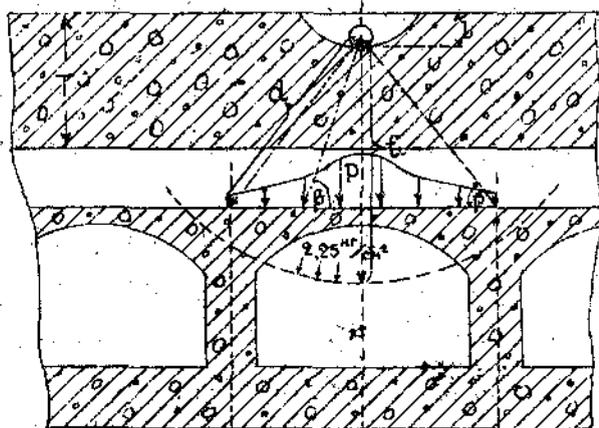
О допустимых напряжениях скажем несколько далее.

Универсальность расчета заключается в том, что умая определять в различных условиях и средах радиусы сферы разруше-

няя, благодаря наличию большого опытного материала, мы сможем во всех случаях определить расчетное давление. Для подтверждения этого обстоятельства мы ниже приводим схему расчета покрытия сложной конструкции и дерево-земляного покрытия (ч. 104 и 105). Особенности здесь

$$t = T_1 + (t_r - T_1) \frac{K_p}{K_p^T}, \text{ где } t_r = K_p^T \sqrt[3]{C}$$

$$T_1 = T - l \quad P^{Hr/cm^2} = 2,25 \left(\frac{l}{d}\right)^2 \sin \beta.$$



Черт. 104.

состоит только в определении величины радиусов сферы разрушения для разнородных сред, которое состоит в том, что вычисляют сперва для основной среды радиус сферы разрушения, затем поскольку он выходит за пределы среды, образовавшийся зазоре приводят через соотношение коэффициентов к действию в новой среде, напр.

$$t = T_1 + (t_r - T_1) \frac{K_p}{K_p^T}, \text{ где } t_r = K_p^T \sqrt[3]{C} \text{ и } T_1 = T - l$$

(черт. 104).

При расчете дерево-земляного покрытия, давление на пределе сферы разрушения взято в 3,25 кгр/см², как это мы установили ранее.

Предварительно считаем нужным отметить, что в настоящем покрытии поддерживающий слой нельзя считать работающим совместно со всем покрытием (дальнейшие взрывы показали отслоение) и это нужно учесть при определении момента сопротивления поперечного сечения.

Определим сперва нагрузку от действия взрыва снаряда.

Радиус разрушения в бетоне при взрыве 74,5 кгр. тротила определится из выражения $t = K_p \sqrt[3]{C}$, K_p - для бетона - 0,77, но в данном случае имеется армирование, поэтому возьмем коэффициент средний между бетоном и железобетоном, т.е. 0,60, тогда

$$t = 0,60 \sqrt[3]{74,8} = 2,52$$

Давление в любой точке покрытия определим из выражения

$$P^{кгр/см^2} = 2,25 \left(\frac{t}{a}\right)^2 \sin^3 \beta,$$

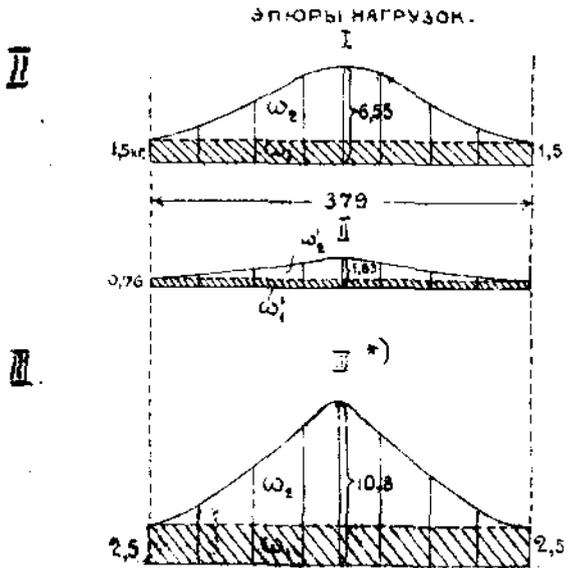
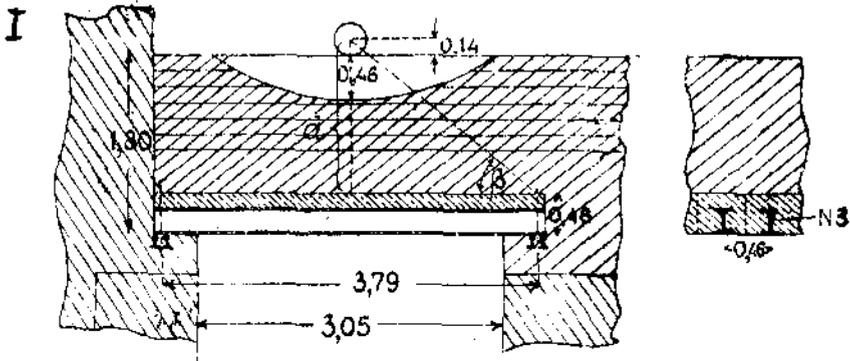
где $t = 2,52$ метра, а a и β можно определить из чертежа или аналитически. Результаты вычисления представлены таблицей. В таблице буквой A обозначено расстояние точки, в которой определяется давление от гориз. проекции центра взрыва.

№ по пор.	Величина A в метрах	Величина a в метрах.	Величина $\sin \beta$	Величина $P=2,25$ в кг/см. ²	Примечание.
1	0	1,48	1	6,55	По этим данным построена эпюра нагрузок I (черт. 106).
2	1,90	2,41	0,61	1,5	
3	1,40	2,04	0,73	2,5	
4	0,90	1,72	0,86	4,1	
5	0,40	1,51	0,97	5,95	

Рассмотренные эпюры нагрузок доказывают, что ее можно разделить на 2 части (равномерно-распределенную и в виде треугольника) соответственно равные:

$$\omega_1 = 568 \text{ кгр.}$$

$$\omega_2 = 958 \text{ кгр.}$$



Черт. 106.

х) Приведенная на черт. III эпюра, выведенная при коэффициенте для бетона в 0,77, подчеркивает значение правильного выбора коэффициента при определении радиуса разрушения.

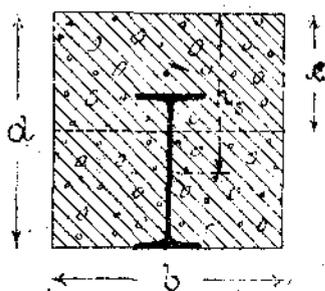
Для дальнейшего расчета выделем из поддерживающего ося железобетонную балку сечения, указанного на черт. 107.

Изгибающий эту балку момент

$$M = l \left(\frac{Q_1 + Q_2}{8} + \frac{P}{6} \right)$$

будет равен

$$M = 379 \left(\frac{568.46 + 180.46 \cdot 379 \cdot 0,0022}{8} + \frac{958.46}{6} \right) = 4.348.000 \text{ кг-см.}$$

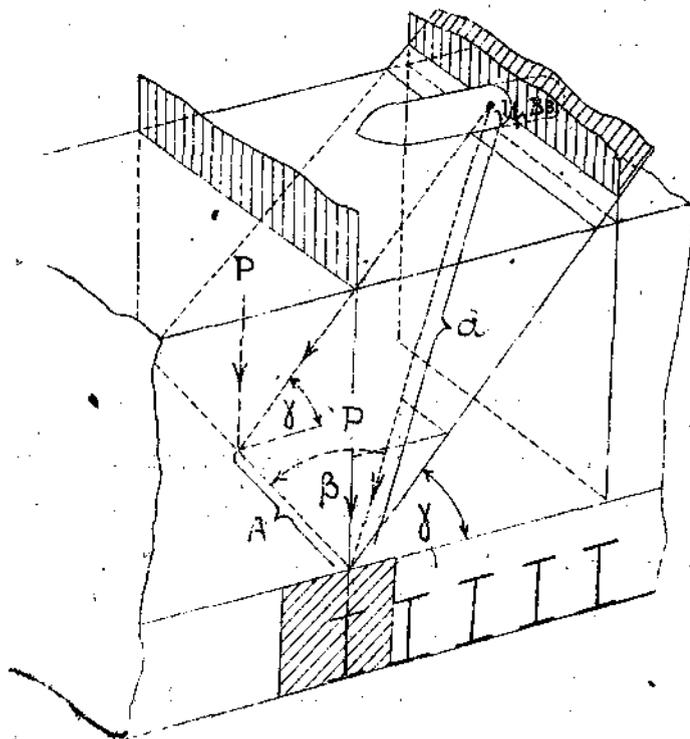


Черт. 107.

Посмотрим чему будет равен изгибающий момент для железо-бетонной балки такого же сечения, отстоящей от горизонтальной проекции центра взрыва на 1,84 м.

Давление в любой точке в этом случае, как это видно из чертежа 108, может быть определено из выражения

$$P \text{ кг/см}^2 = 2,25 \left(\frac{t}{d} \right)^2 \sin \beta \sin \gamma,$$



Черт. 108.

где t - поперечному равно 2,52 мтр. Результаты вычислений представлены нижеприведенной таблицей.

№ п/п	Величина $\frac{A}{\alpha}$ в мтр.	Величина $\frac{d}{\alpha}$ в мтр.	Величина $\sin \beta$	Величина $\sin \gamma$	$P = 2,25 \left(\frac{2,53}{\alpha} \right)^2 \sin \beta \sin \gamma$
1	0	2,36	1	0,63	1,63
2	1,90	3,03	0,78	0,63	0,76

Примечание: Определено точно только две точки, т.к. эшара I показала, что это достаточно для определения всей нагрузки.

На основе II эшары нагрузок определяем, что $\omega'_1 = 288 \text{ кг.}$,
а $\omega'_2 = 165 \text{ кг.}$, тогда изгибающий момент будет равен

$$M = 379 \left(\frac{288 \cdot 46 + 180 \cdot 46 \cdot 379 \cdot 0,0022}{6} + \frac{165 \cdot 46}{6} \right) = 1.436.000 \text{ кг.см.}$$

Зная моменты переходим к определению напряжений в бетоне и в железе, пользуясь общепринятыми формулами для расчета бетонных балок с жесткой арматурой, а именно

$$x = \frac{nF_e}{b} \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2bh_s'}{nF_e}} \right),$$

$$J = \frac{bx^3}{3} + nJ_e + nF_e(h_s - x)^2,$$

$$\sigma_b = \frac{Mx}{J}; \quad \sigma_s = \frac{nM(h - x)}{J}$$

В нашем случае имеем: $b = 46 \text{ см.}$ $d = 46 \text{ см.}$ $h = 46 \text{ см.}$
арматура - двуглавая балка №30 $F_e = 63,6 \text{ см}^2$ и
 $J_e = 8881 \text{ см}^4$, $h_s = 31 \text{ см.}$ (см. черт. 107)

$$x = \frac{15 \cdot 63,6}{56} \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 46 \cdot 31}{15 \cdot 63,6}} \right) = 20,8 \text{ см.};$$

$$J = \frac{46 \cdot 20,8^3}{3} + 15 \cdot 8881 + 15 \cdot 63,6 (31 - 20,8)^2 = 370500 \text{ см}^4$$

$$M_I = 4.348.000 \text{ кгр см.} \quad M_K = 1.436.000 \text{ кгр см.}$$

$$\sigma_b = \frac{4.348.000 \times 20,8}{370.500} = 244 \text{ кгр/см}^2$$

$$\sigma_b = \frac{1.436000 \times 20,8}{370500} = 80,5 \text{ кгр/см.}^2$$

$$\sigma_c = \frac{15 \times 4.348.000 (46 - 20,8)}{370500} = 4430 \text{ кгр/см.}^2$$

$$\sigma_c = \frac{15 \times 1.436000 (46 - 20,8)}{370500} = 1460 \text{ кгр/см.}^2$$

Если это напряжение сравнить с тем, что временное сопротивление бетона сжатия при изгибе равно в среднем - 250 кгр/см.², а железа растяжению - 3000 кгр/см.² соответственно допускаемые напряжения:

для бетона - 20-25 кгр/см.²

для железа - 1000 - 1400 кгр/см.²

а предел упругости железа 1800-1900 кгр/см.², то это позволяет отметить, что напряжения, вычисленные на основе предложенного расчета в общем соответствуют действительности, а именно что в I балке должен был быть некоторый прогиб, а во II балке все ограничилось упругими деформациями.

Сделаем еще проверку на дерево-земляных покрытиях. Конструкция покрытия следующая: сверх потолочного перекрытия из двойного ряда бревен расположена земляная засыпка толщиной 2,13 метра, затем два ряда бревен (твердая прослойка) и затем земляная обсыпка в 0,54 мтр, Пролет 1,35 мтр. В это покрытие было попадание 158 мм фугасной бомбы (вес ее P = 40 кгр., вес взрывного заряда C = 8,4 кгр., длина 4 калибра, угол встречи $\alpha 61,5^\circ$ окончательная скорость $v = 206$ метр/сек), образовавшие воронку диаметром 3,19 метра, глубиной 1,24 метра (черт. 109).

Внутренность убежища не повреждена.

Прежде всего постараемся определить примерное место-

расположение снаряда перед взрывом.

Для этого определим на основе приведенных выше данных глубину воронки от удара по формуле

$$l = A + (l_A - A) \frac{K_n}{K_n^A},$$

где $l_A = K_n^A \frac{P}{\rho} v \cos \alpha =$

$$= 0,000007 \frac{40}{0,152} \cdot 206 \cdot \cos 61,5^\circ$$

$$= 1,22 \text{ метра;}$$

$$l = 0,54 + (1,22 - 0,54) \cdot \frac{0,05}{0,07} = 1,0,25 \text{ метра}$$

т.е. взрыв произойдет в нижнем ряде бревен прослойки (черт.109).

Определим теперь нагрузку от действия взрыва

$$t = K_p \sqrt[3]{C},$$

K_p - берем по грунту (суглинок с водой) равным 1,12, тогда $t = 1,12 \sqrt[3]{8,4} = 2,28 \text{ метра.}$

Давление в любой точке покрытия определится из выражения

$$P \text{ кг/см}^2 = 3,25 \left(\frac{t}{a}\right)^2 \sin \beta,$$

где $t = 2,28 \text{ метра.}$ Дальнейшие вычисления представлены ниже следующей таблицей, значения букв прежние

№ по пор.	Величина A в метр.	Величина a в метр.	Величина $\sin \beta$	Величина $P = 3,25 \left(\frac{t}{a}\right)^2 \sin \beta$ в кг. / см. ²	Примечание
1	0	2,2	1	3,50	Среднее давление равно 2,25 кг/см. ²
2	0,70	2,32	0,25	3,02	

Бревна, несущие нагрузку имеют ширину 0,27 м. при пролете 1,40 метра. Изгибающий момент

$$M = 140 \left(\frac{3,25 \cdot 27 \cdot 140}{8} + \frac{140 \cdot 375 \cdot 27 \cdot 0,0015}{8} \right) = 250000 \text{ кгр.см.}$$

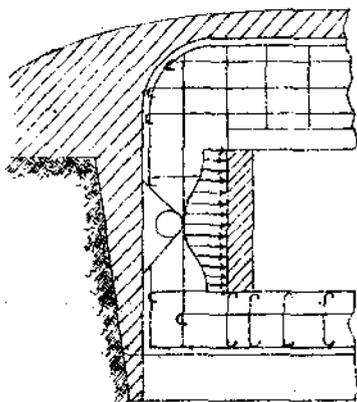
Этому моменту сопротивляется по высоте два бревна (бревна расположены крест на крест).

$$M = 2R \cdot 0,1d^3, \quad \text{откуда } R = \frac{M}{2 \cdot 0,1d^3}$$

$$R = \frac{250000}{2 \cdot 0,1 \cdot 27^3} = 63,7 \text{ кгр/см.}^2$$

Допускаемое напряжение при изгибе для осины = 100 кгр/см.², т.е. расчет подтверждает отсутствие повреждений в потолочном покрытии.

Перейдем теперь к расчету прочных размеров стен,



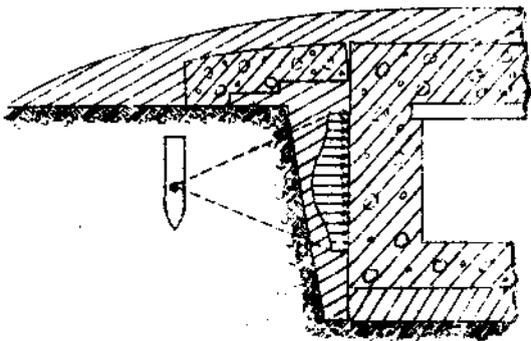
Черт. IIО

свободно лежащую на двух опорах (для расчета выделяется элемент одинаковой ширины, обычно 1 метр) причем пролет ее равен расстоянию между фундаментом и

опорных наружных и внутренних, фундаментах и проч. Расчет наружных стен (лицевых, тыльных), подверженных непосредственному действию снарядов, после того по отмеченным в главе II методам были определены их ориентировочные размеры, вполне подобен расчету прочных размеров покрытия. Стену также будем рассматривать как балку,

покрытием, т.е. высоте помещения. Эпюра нагрузок строится здесь на поддерживающем слое, в данном случае железобетонном или на металлической рубашке (черт. II).

В откосах стен защищенных от непосредственного воздействия орудия поражения горизонтальными тфяками необходимо производить только поверочный расчет на давление взрыва, при чем эпюра нагрузки строится на наружной поверхности стены (черт. III).



Черт. III

Расчет внутренних опорных стен ограничивается проверкой их сечения на сжатие при условии взрыва снаряда или аэробомбы непосредственно над стеной. Эпюра нагрузок строится в плоскости опор, при чем необходимо учесть и реакции опор защитного потолочного покрытия.

В тех случаях, когда энергия взрыва не имеет возможности распространяться

концентрическими сферическими поверхностями, а вынуждена распространяться, приближаясь к плоской волне, напр. при попадании в торец поперечной стены (см. черт. 30), то давления падают менее быстро и повреждения возможны на значительно больших удалениях от места взрыва, чем обычно.

Расчитывая ограждения какого либо проема в такой стене необходимо учесть изменения закона падения давлений при построении эпюры нагрузок. Учитывая, что распространение энергии взрыва, подобно распространению всякой колебательной энергии, напр. звука, то можно на основании аналогий представить себе, что давления в

Панкеев А. И.

этом случае будут падать обратно пропорционально расстояниям.

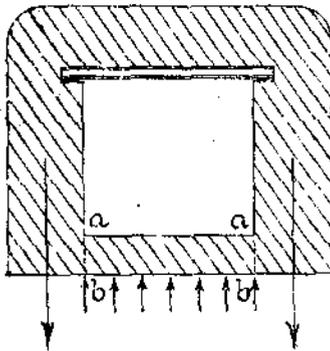
Таким образом последовательность определения величин давления может быть следующая: сперва определяется давление в плоскости основания стены по формуле

$$P_1 = 2,25 \left(\frac{t}{d_1} \right)^2 \sin \beta;$$

этим давлением падает по закону обратной пропорциональности расстояниям, т.е. давление будет определяться в следующем выражении

$$P = \frac{P_1 d_1}{d}.$$

Фундаменты защитных построек, которые с целью получить монолитность сооружения делаются сплошными, рассчитываются на изгиб, как заделанная балка и проверяются на сопротивление перерезывающим усилиям у внутренней поверхности стен в плоскости сопряжения с фундаментом (плоскость „ab“ черт. II2), а также попутно



Черт. II2.

проверяется нагрузка на основание, которая не должна превышать допускаемых нагрузок на имеющийся в основании грунт. Проверка эта производится следующим образом. Определяется общий вес постройки и нагрузка от действия снаряда; полученная

суммарная нагрузка еще увеличивается введением динамического коэффициента 2. Затем проверяется толщина фундамента, ранее определенная ориентировочно, на сопротивление перерезывающим усилиям, нагрузка на фундаментную плиту (снизу) определяется из ее площади и выше определенного давления на основание; делением ее на величину плоскостей сдвига мы определяем напряжение,

которое не должно превосходить допустимого напряжения на сдвиг. Проверка на изгиб не отличается от обычных расчетов гражданского строительства. При этом расчете, учитывая работу фундаментной плиты в условиях приближения к нормальным, возможно допустить учет заделки концов.

Последним вопросом, требующим некоторого освещения перед переходом к примерам, является вопрос о допускаемых напряжениях. Фактором, влияющим на установление допустимых напряжений в материале в отдельных частях защитной постройки, должно быть соображение, что тяжелые расчетные нагрузки являются случайными, поэтому широкое применение гражданских норм, связанных с постоянными или периодически действующими нагрузками, может значительно утяжелить конструкции с малым вероятием их полного использования. Поскольку при попадании снаряда в покрытие неизбежно появление трещин в бетоне, то нет необходимости выбирать напряжения так, чтобы избежать появления трещин, но нам важно сохранить достаточную сопротивляемость покрытия повторному попаданию, что может быть достигнуто тем, что большинство трещин после прекращения динамического воздействия сомкнется. Последнее возможно, если арматура работает при напряжениях до предела упругости и не нарушено сцепление бетона с железом.

Учитывая, что в среднем процент армированная защитных построек доходит до 2, и допускается значительное напряжение в железе, нужно ожидать при соответствующем использовании бетона в защитной зоне больших напряжений в нем. Таким образом мы остаемся на следующих допустимых нагрузках. для металла - предел упругости, для бетона, учитывая возможность некоторого участия в работе сопротивлении и слоя поврежденного высшей

воронкой, можно допустить до 75% временного ссротивления сжатия. Эти же напряжения, остаются для стѣн, подверженных непосредственному действию, для внутренних же стѣн допускаемое напряжение берется равным гражданским нормам с коэффициентом 2.

Прделаем теперь несколько примеров на расчет прочных размеров защитной постройки.

А. Расчет основных размеров защитной конструкции против аэробомбы калибром в 500 кгр.

Данные об аэробомбе:

P - вес ее - 500 кгр.

l - длина - 1,75 метров,

d - диаметр - 0,5 метра,

C - вес В.В. - 250 кгр.

v - конечная скорость - 250 метр/сек.

Определение местных деформаций.

1. Глубина воронки от ударного действия (глубина промякания)

$$l = K_n \frac{P}{d^2} v = 0,000001 \frac{500}{0,5^2} 250 = 0,50 \text{ метра}$$

K_n - коэффициент податливости промяканию хорошего бетона 0,000001 .

2. Глубина воронки от взрыва.

Берем, как обычно два положения:

а) аэробомба стѣн

$$P = K_{y_0} d = 1,12 \cdot 0,5 = 0,56 \text{ метра}$$

б) аэробомба пола

$$P = K_{B_3} \sqrt[3]{C} - u_4 = 0,15 \sqrt[3]{250} - 0,25 = 0,695 \text{ метра}$$

3. Определение суммарного разрушительного действия

а) аэробомбы стѣн

$$S = l + P = 0,50 + 0,56 = 1,06 \text{ метра}$$

б) аэробомба лека

$$S = P = 0,695 \text{ мт.}$$

В расчет берем большую величину.

Сравнительно по методу проф. Коханова конструируем

20
1,58 * 25 = 39,5
1,58 * 30 = 47,4

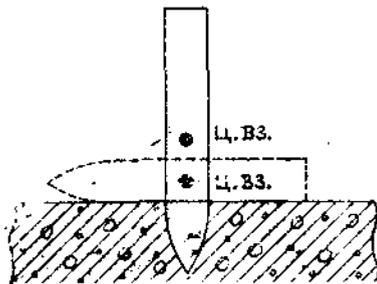
покрытие следующим образом: толщина первого слоя - 1,06 метра, толщина второго промежуточного слоя, равная половине толщине первого слоя - 0,50 метра и поддерживающий слой берем из двутавровых балок №20 поставленных на расстоянии 0,30 метра ось от оси. При этой конструкции допускаются пролеты не > 4,00 метров Проверим это.

На основе разработанного нами универсального метода расчета, давление в любой точке определится из выражения

$$P_{\text{кр}} = 2,25 \left(\frac{t}{d}\right)^2 \sin \beta,$$

где t - радиус сферы разрушения, d - расстояние от центра взрыва до точки, к которой определяется давление, β - угол наклона к горизонту радиуса разрушения.

$t = K_p \sqrt[3]{C} = 0,60 \sqrt[3]{250} = 3,78$ метра, такой величин радиус разрушения будет при положении аэробомбы лека (черт.113).



черт. 113.

Поскольку центр взрыва при положении аэробомбы, стоя удален от покрытия более чем при положении лека, то мы ведем расчет на менее благоприятный случай, а именно положение аэробомбы лека.

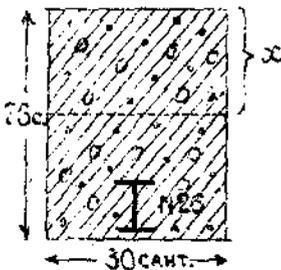
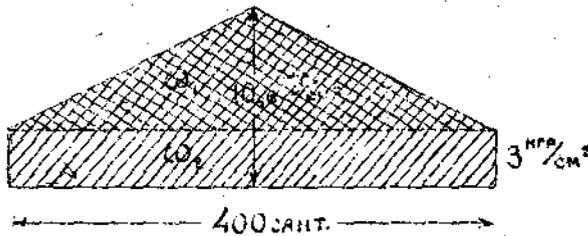
ТАБЛИЦА

определяющая давления в различных точках.

№№ п/п	Величина $2,25.t^2 =$ $2,25 \times 3,78^2$	d	d^2	$\sin \beta$	Величина давления $P \text{ кг/см}^2$	Примечание
1	32,2	1,75	3,06	1	10,6	Для пролета 3,5 метра. (в свету)
2	"	2,66	7,06	0,658	3	

На основе этих данных строим эпюры нагрузок от дей-

ствия взрыва на балку перекрытия (железобетонную), а затем определяем изгибающие моменты и напряжения в материале. На одну балку (черт. 114) придется нагрузка на площадь, равную длине пролета, умноженной на ширину балки.



Черт. 114.

Собственный вес покрытия $0,0022 \times (30 \times 400 \times 180) = 4750 \text{ кг.}$

Остальную нагрузку учитываем по эпюре, тогда изги-

бавший момент

$$M = 400 \times \left\{ \frac{1200 \cdot 30}{8} + \frac{1520 \cdot 30}{6} + \frac{4750}{8} \right\} = 5.077500 \text{ кг.см}$$

Дальнейший расчет ведем по правилам расчета железобетонных конструкций

$$x = \frac{n F_e}{b} \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2b(h-a)}{n F_e}} \right] = \frac{15.49,63}{30} \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2.30.63}{1,5.4963}} \right] = \frac{15.49.63}{30} \cdot 1,48 = 36,8 \text{ см.}$$

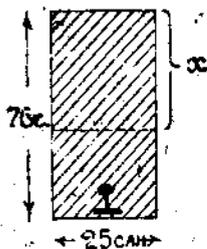
$$J = \frac{bx^3}{3} + nJ_e + n F_e (h_s - x)^2 = \frac{30 \cdot 36,8^3}{3} + 15.5234 + 15.4263 (63 - 36,8)^2 = 1.090500 \text{ см.}^4$$

$$\sigma_b = \frac{Mx}{J} = \frac{5.077600 \times 36,8}{1.090500} = 172 \text{ кгр/см.}^2$$

$$\sigma_e = \frac{n M (h-x)}{J} = \frac{15 \times 5077600 \times 39,2}{1.040500} = 2740 \text{ кгр/см.}^2$$

Как видим обрушения не будет, но остаточный прогиб можно ожидать, т.е. желательно или увеличить № двутавровой балки (взять напр. №30) или же уменьшить расстояния между осями балок до 25 см.

Проверим возможность применения решёта в качестве жёсткой арматуры в этом покрытии, устанавливая их с промежутками ось от оси в 0,25 метра. Расчетное сечение балки следующее (черт. II5).



Черт. II5.

Собственный вес покрытия
0,0022 (25x400x180) = 3960 кгр.

$$M = 400 \left\{ \frac{1200.25}{8} + \frac{1520.25}{6} + \frac{3960}{8} \right\} = 4238000 \text{ кгр.см.}$$

$$x = \frac{15.43,97}{25} \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2.25.69,8}{15.43,97}} \right) = 39,8 \text{ см.}$$

$$J = \frac{25 \cdot 39,8^3}{3} + 15.967,8 + 15.43,97 (69,8 - 39,8)^2 = 1129500 \text{ см.}^4$$

$$\text{Откуда } \sigma_0 = \frac{Mx}{J} = \frac{4238000.39,8}{1129500} = 149 \text{ кгр/см.}^2$$

$$\sigma_e = \frac{nM(h-x)}{J} = \frac{154238000.36,2}{1129500} = 2080 \text{ кгр/см.}$$

Полученные результаты, учитывая общее армирование нижней поддерживающей части позволяют отметить, что возможно при пролете в 4 метра применение рельс № III А.

В. Расчет внутренних опорных стоек.

Внутренние стены берем толщиной в 0,7 толщины покрытия, т.е. $0,7 \times 1,5 = 1,05$ м. Берем 1,10 метра.

Проверим стену на давление покрытия и динамической нагрузки.

Выделим участок стены в 1 кв. метр. Среднее давление по шпуре нагрузок может быть взято в 7 кгр/см.^2 , т.е. все давление приходящееся на участок стены от взрыва аэробомбы будет

$$400 \times 100 \times 7 = 280000 \text{ кгр.}$$

$$\text{Собств. вес } 0,0022[400 \times 100 \times 180] = 15850 \text{ кгр.}$$

Общее давление 295850 кгр., округляя 300000 кгр., откуда нагрузка на 1 кв. сант. равна

$$300000 : (110 \times 100) = 27,3 \text{ кгр.}$$

т.е. вполне допустимая.

II. Возможность определять давление от действия снаряда в различных точках защитной постройки позволяет решать разнообразные задачи и создавать новые конструкции, примером чему может служить вопрос усиления бойницы против действия 202 мм. гаубичного снаряда, весом 100,5 кгр. с зарядом В.В. в 22 кгр., угол падения 49° , диаметр $d = 20,2$ см. и $v = 260$ метр/сек. Местное действие выразится в следующих цифрах.

I. Определение глубины проникания снаряда в армирован-

ний бетон производим по формуле

$$l = K_n \frac{P}{d^2} v \cos \alpha \quad \text{где } K_n = 0,000001$$

а $\cos \alpha$ (\cos угла встречи) равен 0,75 при попаданиях в потолочное покрытие и 0,66 при попаданиях в лицевую стену.

$$l_1 = 0,000001 \frac{100,5}{0,202^2} \cdot 260 \cdot 0,75 \approx 0,50 \text{ метра}$$

$$l_2 = 0,000001 \frac{100,5}{0,202^2} \cdot 260 \cdot 0,66 \approx 0,43 \text{ метра}$$

В лицевую стену могут быть попадания более близкие к нормали и при больших скоростях (см. таблица стрельбы из 203 мм. английской гаубицы марки J1), напр. при дистанции 4054 метра - угол падения $12^{\circ} 8'$ и окончательная скорость 287 метр/сек., при этих данных проникание будет равно

$$l = 0,000001 \frac{100,5}{0,202^2} \cdot 287 \cdot 0,98 = 0,725 \text{ метра}$$

2. Определение глубины воронки от взрыва производим по формуле

$$P = K_{Bz} \sqrt[3]{C} - \alpha \quad \text{где } K_{Bz} = 0,15$$

$$P = 0,15 \sqrt[3]{22} - 0,101 \approx 0,32 \text{ метра}$$

3. Определение величины давления на перекрытие бойницы

Производим на основе разработанного универсального расчета.

Вес В.В. С = 22 кгр. Давление в любой точке

$$P \text{ кгр/см}^2 = 2,25 \left(\frac{t}{d}\right)^2 \sin \beta \quad \text{где } t \text{ радиус}$$

сферы разрушения, d - расстояние от центра взрыва до точки, в которой определяется давление, β - угол наклона к горизонту радиуса разрушения

$$t = K_p \sqrt[3]{C} = 0,60 \sqrt[3]{22} = 0,60 \cdot 2,8 = 1,68 \text{ метра}$$

Конструкция бойницы берем обычного типа.

ТАБЛИЦА

определяющая давления в различных точках.

№ по пор.	Величина $2,25 \times t^2$ ($2,25 \times 1,68$)	d	d^2	$\sin \beta$	$\sin \gamma$	Величина давления P кгр/см ²	Применение.
1.	3,30	0,60	0,36	1	-	17,5	см. черт. II 6 и II 7
2.	"	1,12	1,25	0,555	-	2,7	
3.	"	0,76	0,58	1	0,79	8,6	II полож. в I вар.
4.	"	1,06	1,22	0,716	0,79	2,92	
5.	"	0,60	0,36	1	-	17,5	I полож. во II вар.
6.	"	0,89	0,79	0,675	-	5,38	
7.	"	0,76	0,58	1	0,79	8,6	II полож. во II вар.
8.	"	0,80	0,64	0,95	0,79	7,4	

Положение снаряда перед взрывом видно из черт. II 6.

На основе этих данных строим эпюры нагрузок от действия снаряда на бабки перекрытия бойницы, а затем определяем изгибающие моменты и определяем напряжения в материале.

I положение в I варианте (черт. II 6 и II 7). на одну бабку приходится нагрузка на площадь равную длине пролета, умноженной на ширину - 30 см.

Собств. вес = $0,0022(30 \times 200 \times 150) = 1980$ кгр.

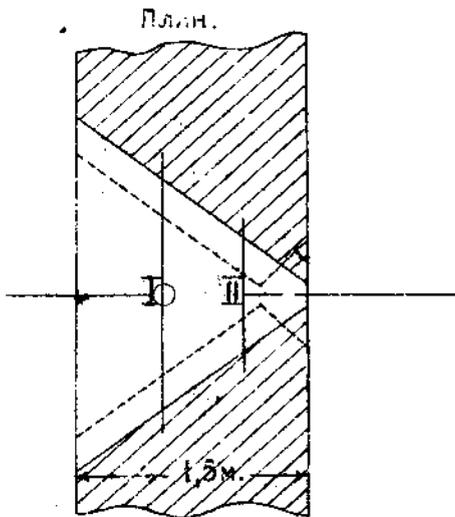
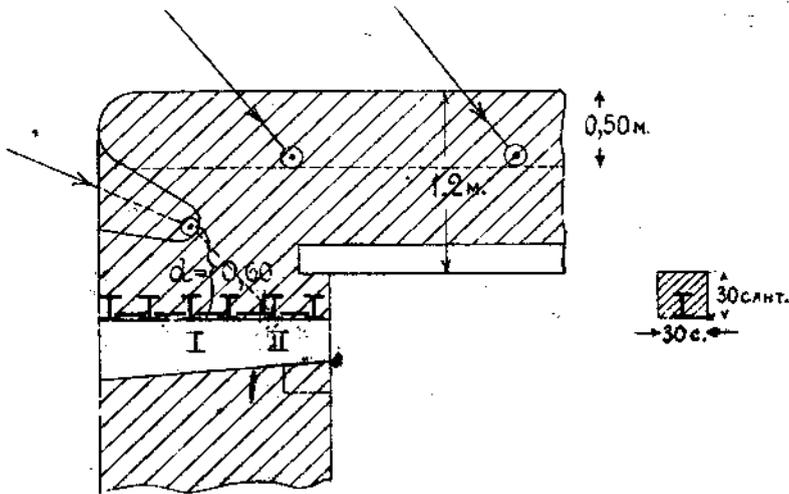
Нагрузку остальную берем из эпюры нагрузок

$$M = 200 \left\{ \frac{540 \cdot 30}{8} + \frac{1480 \cdot 30}{6} + \frac{1980}{8} \right\} = 2.335.600 \text{ кгр. см.}$$

$$P = \frac{M}{W} = \frac{2335600}{146} \cong 16000 \text{ кгр/см}^2$$

W_{∞} для двутавровой балки №16 = 113,6 см.

W_{∞} для рельса № III A = 146 см.



Пунктиром показан II вар. бойницы.

Черт. IIб.

Если учесть работу бетона, то на основе расчета железобетонной балки с жестким армированием имеем

$$x = \frac{n F_s}{b} \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2b(h-a)}{n F_s}} \right) = \frac{15.43,97}{30} \left\{ -1 + \sqrt{1 + \frac{8.30.23,8}{15.43,97}} \right\} = 20,2$$

$$J = \frac{bx^3}{3} + nJ_e + nF_e(h_s - x)^2 = \frac{36.20,2^3}{3} + 15.967,8 +$$

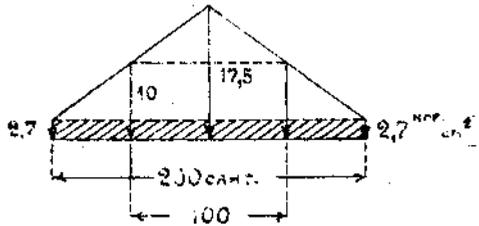
$$+ 15.43,97 (23,8-20,2)^2 = 82000 + 14500 + 8540 = 105.040 \text{ см}^4$$

$$\sigma_b = \frac{Mx}{J} = \frac{2335600 \cdot 20,2}{105.040} = 450 \text{ кгр/см}^2$$

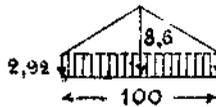
$$\sigma_e = \frac{nM(h-x)}{J} = \frac{15 \cdot 2.335600 \cdot 9,8}{105.040} = 3260 \text{ кгр/см}^2$$

т.е. возможен безусловно прогиб башки (рельсы) и таким образом закроется обстрел.

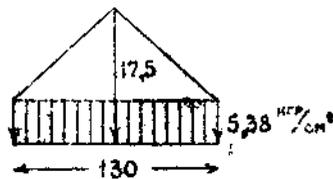
I пол. I вар.



II пол. I вар.



I пол. II вар.



II пол. II вар.



Эпюры нагрузок.

Черт. II7.

Проверим еще полосовое железо толщиной 6 мм, уложенное между балками.

Выделим полосу длиной в 1 метр. при пролете в 24 с. Нагрузку определяем как и выше (см. черт. II7 I полож. I вар.)

$$M = 24 \left\{ \frac{1000.24}{8} + \frac{375.24}{6} + \frac{990}{8} \right\} = 111000 \text{ кгр.см.}$$

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{100.0,6^2}{6} = 6 \text{ см.}^3 \quad R = \frac{M}{W} = \frac{111000}{6} = 18500 \text{ кгр/см.}^2$$

т.е. при этом сечении и при малом расстоянии между рельсами котельное железо не выдержит действия снаряда и так же будет выбито вниз и закроет обстрел.

II положение в I варианте (см. черт. II16 и II7).

Собственный вес = 0,0022 (30x100x150) = 990 кгр.

$$M = 100 \left\{ \frac{292.30}{8} + \frac{250.30}{6} + \frac{990}{8} \right\} = 246.800 \text{ кгр.см.}$$

$$R = \frac{M}{W} = \frac{246800}{146} = 1690 \text{ кгр/см.}^2 \quad \text{Относительно } W \text{ см. выше.}$$

$$\sigma_e = \frac{nM(h-x)}{J} = \frac{15.246800.9,8}{105040} = 346 \text{ кгр/см.}^2$$

т.е. в этом случае можно прогиба не опасаться.

Проверим полосовое железо в этом случае.

$$M = 24 \left\{ \frac{292.24}{8} + \frac{250.24}{6} + \frac{990}{8} \right\} = 48000 \text{ кгр.см.}$$

$$R = \frac{M}{W} = \frac{48000}{6} = 8000 \text{ кгр/см.}^2, \text{ т.е. лист может быть выбит}$$

и в этом случае, угрожая закрытием обстрела.

I положение во II варианте (см. черт. II16 и II7).

Собственный вес = 0,0022 (30x130x150) = 1280 кгр.

$$M = 130 \left\{ \frac{700.30}{8} + \frac{780.30}{6} + \frac{1280}{8} \right\} = 867000 \text{ кгр.см.}$$

$$R = \frac{M}{W} = \frac{867000}{156} = 5950 \text{ кгр/см.}^2$$

Если рассматривать покрытие как железобетонное, то

$$\sigma_b = \frac{Mx}{J} = \frac{867000.20,2}{105040} = 167 \text{ кгр/см.}^2$$

$$\sigma_e = \frac{nM(h-x)}{J} = \frac{15.867000.9,8}{105040} = 1210 \text{ кгр/см.}^2$$

(сечение железобетонной балки прежнее).

В этом случае может и не быть остаточный прогиб.

Поверим котельное железо.

$$M = 24 \left\{ \frac{700.24}{8} + \frac{500.24}{6} + \frac{990}{8} \right\} = 103000 \text{ кгр.см.}$$

$$R = \frac{M}{W} = \frac{103000}{6} = 17000 \text{ кгр/см.}^2, \text{ т.е. железо будет выбито поперекну.$$

II положение во II варианте (см. черт. II6 и II7).

Собственный вес 0,0022 (30 50 x 150) = 495 кгр.

$$M = 50 \left\{ \frac{370.30}{8} + \frac{30.30}{6} + \frac{495}{8} \right\} = 80000 \text{ кгр.см.}$$

$$R = \frac{M}{W} = \frac{80000}{146} = 550 \text{ кгр/см.}^2, \text{ т.е. в этом случае безусловно не будет прогиба рельса, посмотрим положение листа котельного железа.}$$

$$M = 24 \left\{ \frac{370.24}{8} + \frac{30.24}{6} + \frac{495}{8} \right\} = 31000 \text{ кгр.см.}$$

$$R = \frac{M}{W} = \frac{31000}{6} = 5200 \text{ кгр/см.}^2, \text{ т.е. и в этом случае взятый лист котельного железа оказывается слабым, будет выбит и закроет обстрел.}$$

Нет сомнения, что при больших пролетах бойницы не вы-

держит и сплошной ряд балок и рельс. Проверим это для I полож. в I варианте. Действительно балка в 3 раза уже, т.е.

$$M = \frac{2335600}{3} = 776000 \text{ кгр.см. и}$$

$R = \frac{M}{w} = \frac{776000}{146} = 5300 \text{ кгр/см}^2$, т.е. больше допускаемых напряжений.

Вполне понятно, что действие взрыва снаряда, лежащего ближе к балкам или непосредственно над ними уже безусловно повлечет прогиб балок и закрытие обстрела.

Посмотрим как обстоит дело в I пол. I вар. с опорными частями рельса под нагрузкой, определенной по эюре и равной 62580 кгр., т.е. давление на одну опору равно

$$\frac{62580}{2} = 31290 \text{ кгр.}$$

Допускаемое напряжение на сжатие для бетона - 35 кгр/см². т.е. площадь соприкосновения рельса с бетоном должна равняться

$$\frac{31290}{35} = 895 \text{ кв.см.,}$$

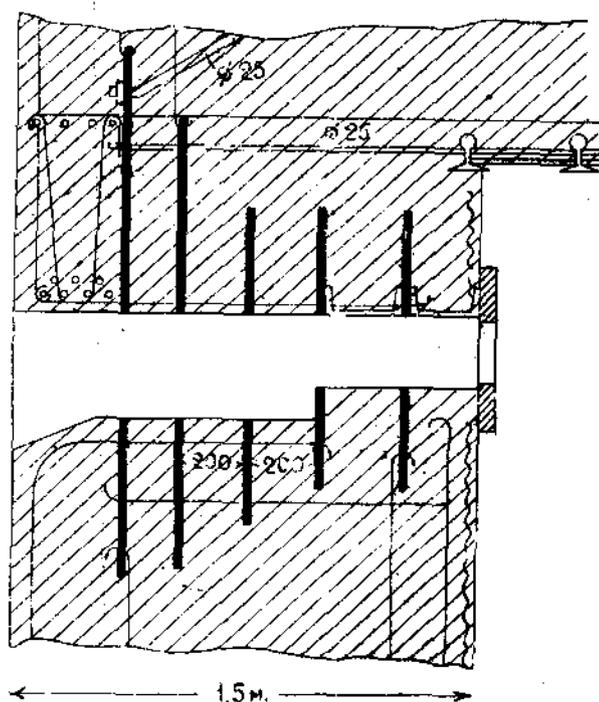
что при ширине подошвы рельса ≈ 12 сант. требует огромной заделки без чего может рельс на изгиб выдержать, а разрушение пойдет бетона у опор.

Учитывая вышеприведенный расчет, вполне очевидна слабость обычной конструкции, а поэтому намечено усиление бойницы при помощи устанавливаемых в бетон перпендикулярных к директриссе стрельбы металлических листов толщиной 10 мм. Каждый лист имеет вырез по размерам амбразуры и связан по возможности с сетками армирования остальной конструкции. Листы, расположенные ближе к полю сделаны большего размера, чтобы перехватить снаряд и не дать ему глубоко проникнуть в бетон. При этом возможно ожидать уси-

ления сопротивления со стороны бетона действию удара.

Перекрытие бойницы осуществляется следующим образом.

Между листами, расположенными ближе к заслонке укладываются в перекрытии швеллера, чтобы избежать откола кусков бетона, в этой части это сделать возможно, т.к. давления от взрыва снаряда здесь, как мы видели выше, не столь велики и пролеты малые (черт. II 8).



Черт. II 8.

Произведем проверку.

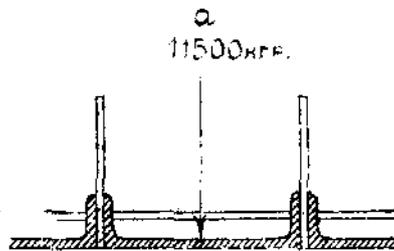
Нагрузка на швеллер определяется при помощи таблицы для II положения в обих вариантах порядка 11500 кгр.

Швеллер прикреплен к листам пропусканием, связующих стержней, которые работают на срезывание (черт. II 9а).
Беря допустимое напряжение сдвига $K_2 = 320$ кгр/см.², определяем необходимую площадь стержней в

$\frac{11500}{2} : 320 = 18$ кв.см., что можно получить 10 стержнями диаметром 15-16 мм. или 15 стержнями диаметром 12-13 мм.

Проверяем лист котельного железа на смятие, беря допускаемое напряжение $K = 600$ кгр/см², откуда необходимая площадь соприкосновения определяется в $\frac{11500}{600} = 19$ кв.сант., что может быть осуществлено, увеличив несколько число, определенных выше стержней.

Проверим лист котельного железа на сгиб (черт. 119б).



Получаем необходимую

площадь в

$$\frac{11500}{750} = 15,4 \text{ кв.сант.},$$

а она у нас значительно больше.

Теперь проверим несущую нагрузку конструкцию перекрытия.

Нагибающий момент во II положении I варианта равен

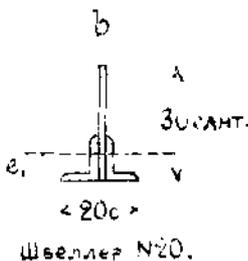
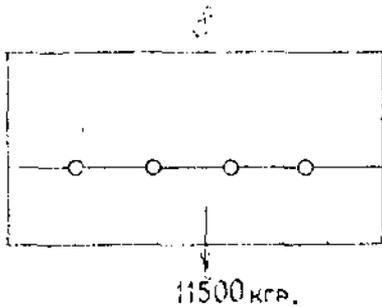
$$M = 100 \left\{ \frac{292 \cdot 20}{8} + \frac{250 \cdot 20}{6} + \frac{630}{8} \right\} =$$

$$= 206100 \text{ кгр.-см.}$$

Сечение балки (черт. 119 в) имеет общую площадь 64 см².

Определяем графически центр тяжести нашей фигуры ($e_1 = 8,5$ см.), а затем момент инерции J и W .

$$J = 1/3 (20 \cdot 8,5^3 - 17,7,7 + 1 \cdot 21 \cdot 5) = 3325 \text{ см}^4$$



Черт. 119.

$$w = \frac{3325}{21,5} = 154,5 \text{ см.}^3$$

$$R = \frac{M}{w} = \frac{206100}{154} = 1340 \text{ кгр/см.}^2$$

Учитывая, что эта конструкция может работать и как железобетон, можно сказать что остаточных деформаций не будет.

В местах, где давления велики и большие пролеты (ближе к полю) между листами ничего не кладется, так как иначе бы все это было вышиблено и таким образом загорожен обстрел. В этих местах оставлен бетон открытым, что не опасно, так как можно предполагать, что наличие вертикальных листов ограничит величину откола, куски бетона упадут в уступы низа бойницы и если все же будет загорожен ими обстрел их легко снести.

Часть покрытия над бойницей, непосредственно примыкающая к полю сделана железобетонной, при чем сечения стержней подобраны по расчету (Залигер 1928г. стр.229). Ширина железобетонной балки 35 см., высота 60 см.

Изгибающий момент взят, равным 3000000 кгр.сант.

$$\text{откуда } h = a \sqrt{\frac{M}{b}} = a \sqrt{\frac{3000000}{35}}$$

$$60 = a \cdot 283, \text{ откуда } a = \frac{60}{283} = 0,212.$$

Подбираем по таблице

$$\mu = 0,0260 \text{ и } \mu_1 = 0,0159$$

Затем определяем необходимую площадь арматуры

$$F_c = \mu \cdot b \cdot h = 0,0260 \cdot 35 \cdot 60 = 54,5 \text{ кв.см.}$$

$$F_c' = \mu_1 \cdot b \cdot h = 0,0159 \cdot 30 \cdot 60 = 33,2 \text{ кв.сант.}$$

Берем для F_c 7 стержней по 300 мм. и для F_c' 4 стержня по 300 мм.

Принимая во внимание большое сечение стержней (трудно перерезываемых) еще целесообразнее было бы применение

в этой части оводчатого перекрытия с тем, чтобы удалить мощные стержни от бойницы. Полное обрушение этой части перекрытия, связанной с первым вертикальным листом мало вероятно, отдельные же куски могут быть сброшены, для чего может быть дан скатнизу бойницы.

Б. Проверка на отрыв первого большого листа кастельного железа в поле.

При взрыве снаряда (8 гауб) за листом вполне естественно может возникнуть опасение за отрыв всего листа от остальной массы бетона. Препятствовать отрыву будут: 1) все горизонтальные стержни, идущие вглубь бетонного массива и 2) бетон по периметру листа. Площадь первого листа около (100 x 200) = 20.000 кв.сант. Давление на эту площадь будет велико. Походим к расчету следующим образом. В данном случае металлические стержни, удерживающие лист заменяют работу бетона на растяжение по всей площади листа. Подберем сечения, дающих в сумме равное с бетоном сопротивление.

Площадь бетона по размерам листа 20000 кв.сант.

Временное напряжение на разрыв железа - 3500 кгр/см²

" " " " " бетона 30 кгр/см²

Таким образом бетон может выдержать давление в 20000 x 30 = 600000 кгр, откуда суммарное сечение железных стержней определится в

$$\frac{600000}{3500} = 172 \text{ кв. сант.}$$

что может быть осуществлено 25 дополнительными стержнями диаметром в 30 мм. или несколько большим числом стержней в 25 мм. (см. черт. 118).

Произведем еще один и последний пример на проверку этим методом одной из конструкций сопротивляющей одну неподвижную 42 сант. бомбы морозной артиллерии (черт. 120). По данным Н.И. Унгермана ¹⁾ глубина воронки от удара равна 1,6 метра, что определяет положение снаряда не-
 1) Проф. Имельков и Унгерман. Детали казематированных сооружений. Часть II.

ния.

Поставим теперь вместо сплошного ряда балок, те же балки с промежутком в 0,30 метра и рассчитаем железобетонную балку сечения указанного на чертеже 120А.

Сечение это определено путем исключения поврежденной части, т.е. вычитанием из защитной толщи глубины внешней воронки.

Тогда изгибающий момент несколько изменится, так как увеличилась ширина расчетной балки, а именно

$$M = 400 \left\{ \frac{910 \cdot 30}{8} + \frac{1400 \cdot 30}{6} + \frac{3460 \cdot 2,5}{8} \right\} = 4592000 \text{ кгр.см.}$$

$$x = \frac{nF_e}{b} \left\{ -1 + \sqrt{1 + \frac{2b(h-a)}{nF_e}} \right\} = \frac{15.63,61}{30} \left\{ -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 30 \cdot 85}{15.63,61}} \right\} = 48,4 \text{ см., откуда}$$

$$J = \frac{bx^3}{3} + nJ_e + nF_e(h-x)^2 = \frac{30 \cdot 48,4^3}{3} + 15.8881 + 15.63,61 \cdot 36,6^2 = 2550000 \text{ см.}^4$$

откуда $\sigma_b = \frac{Mx}{J} = \frac{4592000 \cdot 48,4}{2550000} = 87 \text{ кгр/см.}^2$

$$\sigma_e = \frac{nM(h-x)}{J} = \frac{15 \cdot 4592000 \cdot 51,6}{2550000} = 1400 \text{ кгр/см.}^2$$

Результат этот показывает, что в последнем случае покрытие получается более сильное, несмотря на уменьшение металла. Этот случай об'ясняется более целесообразным использованием материала, работой бетона и металла совместно.

Приведенные примеры показывают какие возможности анализа дает в руки проектировщика разработанный метод расчета. Можно спроектировать совершенно новые конструкции и иметь при этом достаточно ясное суждение об их защитных свойствах. Это заставляет обратить внимание на необходимость непрерывно работать над уточнением расчетов защитных конструкций.

Г Л А В А I V

РАСЧЕТ ДЕЙСТВИЯ ВОЗДУШНОЙ ВОЛНЫ ОТ ВЗРЫВА.

Общие сведения о взрыве в воздухе. Распространение воздушных волн. Давления на линии волн. Расчет безопасных расстояний. Различные методы измерения давлений. Примеры расчета.

Помимо осколочного действия взрыв снарядов и аэробомб по соседству с защитной постройкой может ее повредить действием взрывной воздушной волны. Взрыв в воздухе производит огромное давление, достигая даже на значительных расстояниях силы урагана, напр. взрыв 1000 кгр. В.В. на расстоянии 500 метров дает давление в $0,04 \text{ кгр./см.}^2$ или 400 кгр./м.^2 , т.е. давление урагана ^{x)}

Благодаря тому, что железные защитные постройки мало выдаются над поверхность земли, затем стены имеют значительные толщины, обусловленные необходимостью защиты от непосредственных попаданий снарядов и аэробомб, постройки эти мало страдают от воздушной волны, единственно слабыми местами являются ограждения, закрывающие различные отверстия: входы, бойницы, вентиляционные каналы и т.д. Поскольку целостность всех наружных ограждений в современных условиях (их безопасность) является неотъемлемым условием для всякой защитной постройки, то необходимо при проектировании уметь правильно учесть действие взрывной волны и дать соответствующую прочность отдельным частям.

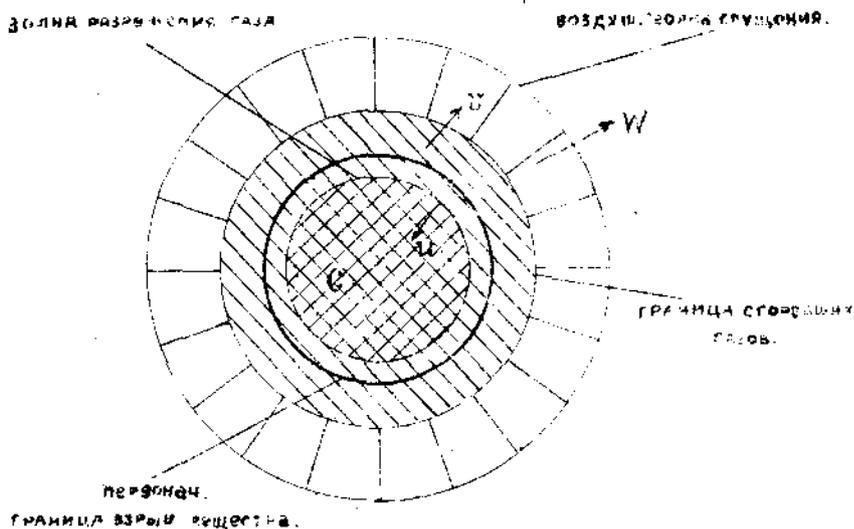
Общие сведения о явления взрыва в воздухе.

В момент взрыва заряда В.В. в воздухе, продукты мгновенного сгорания его занимают об'ем больший первоначально занимаемого об'ема взрывчатки веществом и стремятся

x) Heerestechnik 1927г., №5 статья Justrow. Konstruktion und Wirkung von Fliegerbomben.

расширяться под действием огромной упругости с некоторой скоростью U , при чем они производят огромное давление на окружающий место взрыва воздух.

При этом образуется воздушная волна сжатия, устремляющаяся вперед с еще большей скоростью W , эта скорость первое время значительно больше скорости звука, имеются мнения, что в непосредственной близости от заряда она равна скорости детонации (черт. 121).



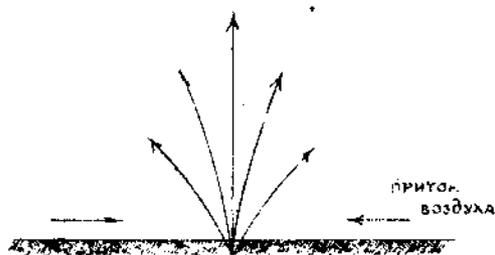
Черт. 121.

Волна сжатия - это лавинообразное движение больших масс воздуха - встречая на своем пути преграду, производит на нее большое давление.

Прежде чем переходить к рассмотрению законов падения скоростей и давлений отметим, что расширение газов непосредственно у поверхности взрывчатого вещества создает внутри разрежение, чем и объясняется напр. наблюдаемое иногда обрушение препятствий в сторону очага взрыва; образуется как бы обратная воздушная волна. Правда иногда подобное явление может быть объясне-

не тем, что земля, по которой удар передается скорее, получает сдвиг, благодаря чему фундамент в постройке может быть сдвинут ранее стен, которые в этом случае получают относительный сдвиг в обратную сторону на встречу удару.

Объяснение обратной воздушной волны может быть дано еще и тем, что в первый момент действия взрыва распространяется равномерно во все стороны, а затем образующаяся в земле воронка направляет продукты взрыва более вверх и таким образом у поверхности земли создается некоторое разрежение. Куды и устремляется воздух со сторон. (черт. 122).



Черт. 122.

На фотографиях 123 снят кинематографически взрыв 1000 кгр. ВВ. На первых двух фотографиях видна ударная воздушная волна, занимающая об'ем несколько более полушарья, видимость волны об'ясняется тем, что сжатый в волне воздух сильно нагрет так, что капельки воды в этой зоне сей-

час же испаряются; при слегка туманной погоде видно поэтому, как светлый фронт волны на менее светлом фоне быстро перемещается вперед. В первый момент видимая ударная волна обнимает продукты взрыва подобно быстро растущему колесоу. На последующих двух фотографиях уже ударная волна ушла за пределы снимка и ясно видны продукты взрыва. Наблюдаемые при взрыве явления на основе кинематографических исследований имеют следующую последовательность: 1) ярко светящаяся полушарья с короткими лучами, 2) постепенно уходящая ударная волна, с такой же постепен-



депр. 123.

ности на дневной поверхности образуется низкая белая
слой (дым, пыль), который снизу замыкает полуферриче-
скую волну, 3) выступают продукты взрыва, распростра-
ясь перпендикулярно к существовавшим поверхностям твер-
дого взрывчатого заряда, особенно сильно вверх, 4) вме-
стание твердых, принадлежащих основанию (земле) кусков-
осколков, расширение продуктов взрыва (газов) в форме
пниги, 5) дальнейшее медленное расширение и рассеивание
ветром.

При внезапном расширении продуктов взрыва получает
удар и земля. Благодаря тому, что земля обладает не од-
ной об'емной упругостью, как воздух, то помимо волны сжа-
тия образуется волна срезывания (разрушения). Кроме то-
го образуются в земле поверхностные волны в виде попереч-
ных колебаний. По пути движения волны снова образуются
колебания, волн отражаются и все явление усложняется.

Прежде чем переходить дальше условимся волну образу-
ющуюся в воздухе называть ударной воздушной волной, отка-
зываясь от термина взрывной волны, оставляемого для волны
в пределах об'ема В.В.

Скорость распространения воздушной прямой волны. Как
уже отмечалось скорость вблизи очага взрыва значительно
превышает скорость звука, а затем падает по некоторому
закону и достигает последней. Взрывная волна достигает
скорости звука на следующих расстояниях

для заряда в	0,10 кгр.	-	6 метров
"	"	1,00 кгр.	- 12 "
"	"	4,00 "	- 20 "
"	"	25,00 "	- 60 "
"	"	100,00 "	- 100 "

Об изменении скорости вблизи заряда можно судить по
следующим данным. ¹⁾

1) Memorial de l'artillerie française, t V 3p. 1926r.

Burbot. Etude experimentale des ondes de choc aeriennes.

Заряд В.В. 4 кг.	Расстояние, на которых наблюдается скорость							
	0 м.	0,05	0,25	0,45	0,65	0,85	1,05	1,25
Скорость v_m	7050	6442	5304	4710	3995	3814	3400	3155
Скорость детонации	7050						1,45 3140	

Некоторое представление о законе падения скоростей можно оставить на следующих таблиц.

Величина заряда в кгр.	Расстояние, на котором скорость волны равна 400 метр/сек. в метрах.
100	24 < d < 28
25	14 < d < 16
4	5 < d < 7
1	2 < d < 4
0,1	1 < d < 2

Следующие две таблицы составлены таким образом, одна таблица составлена в предположении, что расстояния изменяются по закону корня кубического, а вторая корня квадратного. Численные данные сравниваются с наблюдениями фактически за основу взят заряд в 100 кгр.

Величина заряда в кгр.	Численное расстояние в метрах.	Среднее расстояние, взятенное из опыта в метрах.
100	" - "	26
25	16,4	15
4	8,8	6
1	5,6	3
0,1	2,6	1,5

Величина заряда в кгр.	Исчисленное расстояние в метрах.	Среднее расстояние, выведенное из опыта в метрах.
100	-	26
25	13	15
4	5,2	6
1	2,6	3
0,1	0,8	1,5

Рассмотрение всех приведенных таблиц показывает, что при взрыве заряда В.В. по соседству с землей, образуется воздушная ударная волна, распространяющаяся с большой скоростью и меняющей свою величину от скорости детонации до скорости звука. При чем скорость звука достигается на расстояниях d , связанных с величиной заряда S следующей зависимостью

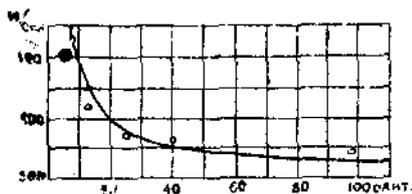
$$d = kc^n \quad \text{где} \quad \frac{1}{2} > n > 1/3$$

У Рюденберга (Rüdenberg^{x)} приведено несколько зависимостей достаточно сложного вида для скорости распространения воздушных волн, которые нами здесь не приводятся, так как этот вопрос имеет более теоретический интерес.

Практически верные измерения скорости распространения волн E. Mach для малых зарядов. Левая половина черт. 124 представляет уравнение между кривой Рюденберга и опытными наблюдениями Mach'a, заметно близкое совпадение опыта с теорией. Правая половина черт. дает наблюдения Wolff'ом величины скорости распространения воздушной волны при взрыве 1500 кгр. гранат (никриновая клетота) на различных расстояниях, нанесенные мелкими кружками, кривая дает тоже данные по теории Рюденберга; опять хорошее совпадение.

x) Рюденберг. О скорости распространения и силе скачков уплотнения. Перевод 1921 г.

Кривые характерно подчеркивают, что закон падения скоростей несколько меняется в зависимости от удаления от очага взрыва.



Иачк.

Черт. 124.

Wolff.

Пределы разрушительного действия взрывов в воздухе.

До последнего времени для определения разрушительного действия взрывов в воздухе пользовались эмпирическими формулами вида $d = k\sqrt[n]{C}$, где d расстояние безопасное или характерное каким либо видам разрушения

k - коэффициент, C - вес заряда В.В. и

n - показатель корня равный 2 или 3.

Наиболее распространенным был корень квадратный на основании теоретической предпосылки, что энергия волны распространяется из места взрыва, как из фокуса, по сферическим поверхностям. Поверхности эти пропорциональны квадратам расстояния, а отсюда и действие зависит от квадрата расстояния. Примером подобного расчета могут служить данные, приведенные проф. Сапожниковым^{х)} при определении безопасных удалений от складов В.В., а именно: полное ограждение безопасности (допускается расположение построек и сооружений государственного значения и общественных зданий) дает формула $d = 16,5 \sqrt{C}$, достаточную безопасность (дороги, селения - допустимы)

$$d = 11 \sqrt{C} \text{ и наконец}$$

допустимая безопасность

$$d = 7,5 \sqrt{C}$$

^{х)} Проф. Сапожников. Теория взрывчатых веществ. 1926г.

при чем d - определяется в метрах, а C - величина заряда берется в кгр.

В настоящее время имеется теоретическое обоснование кубической зависимости, заключающееся в том, что энергия взрыва сосредоточивается не на шаровых поверхностях, а в сплошных сферах ^{I)}, соответственно чему имеются следующие расчетные формулы

$$d = 10\sqrt[3]{C} \quad (\text{слабые повреждения})$$

$$d = 6\sqrt[3]{C} \quad (\text{более сильные повреждения})$$

Коэффициенты в этих формулах также зависят от рода взрывчатого вещества, приведенные коэффициенты относятся к динамиту (мелиниту, шеддиту и подобн.)

Эти формулы проверались опытами, так Тома сообщает об опытах, произведенных им на поле Бевеуго в 1902г. с целью определения зон разрушения в зависимости от величины заряда и удаления от места взрыва. Чтобы различать эффект действия, вокруг места взрыва были расположены по всем направлениям, на различных дистанциях от 5 до 1000 метров часть подвижные, часть неподвижные щиты и построены были в двух местах небольшие бараки с застекленными окнами, дверями и черепичной кровлей. Величина заряда (динамита) брались в 25, 50, 150 и 1000 кгр. в обычной упаковке, при чем с уменьшением величины заряда зона заметного разрушения получалась с радиусом в 17,5-40-55 и 125 метров. За этими пределами получалась небольшая нейтральная зона, а дальше наблюдался удар в противоположном направлении, в направлении к месту взрыва, в эту сторону были опрокинуты щиты, а в бараках, рамы и стекла в них, были брошены внаружу.

Искала подтверждений вычисленным данным путем изучения катастроф, при чем наблюдаемые размеры зон разруше-

I) С.Г.Филиппов. Краткий курс теории "Технология В.В." 1927г. стр.142. Риденберг. *Artill. Monatshefte*. №13 1926г.

ния имели соответствующие размеры, что видно из следующей таблицы: ^{х)}

Катастрофа		Взрывч. вещества.		Зона р а з р у ш е н и я	
Место	Год	К-тво кг.	Род вещества	Наблюдалось в мт.	Вичисл.
Корчилен	1889	5500	Черн. пор.	340 м. -тяжел.поврежд.	500
Винья-Пиа	1891	260000	"	1500 м. " "	3600
				6000-очень лег.повр.	
Сантан-дер	1893	30000	Динамит.	600-тяж.поврежд.	1700
Кикен	1895	20000	"	1800-2200 в разн.напр.	1400
Иоганнесбург	1896	50000	Грем. студ.	1800-тяжел.поврежд.	2500
				4500-легкие поврежд.	
Лагубран	1899	100000	Черн. пор.	3200-тяжел.поврежд.	2200
		100000	Безд. пор.	7000-легк.поврежд.	
Авильяна	1900	10000	Грем. студ.	1300-легк.поврежд.	1200

Много поучительного дает в этом отношении катастрофа, имевшая место в Стоумаркете в 1871 г. при взрыве 13500кг. пероксида. Звук от этого взрыва был слышен на расстоянии 45-50 километров. Удар взрыва в виде сотрясения оконных стекол и местами даже трескания их чувствовался на II километрах. На расстоянии 8 километров сила удара взрыва была еще настолько значительна, что местами были разрушены дверные запоры в виде прочных железных стержней. На расстоянии 1600 метров оконные рамы во многих местах были разломаны. На расстоянии от 1200 до 400 метров были опрокинуты легкие кирпичные стены и разрушена церковная колокольня, вообще заметны материальные повреждения огра-

х) Проф. Сапожников. Теория взрывч. веществ. 1926г. стр.225.

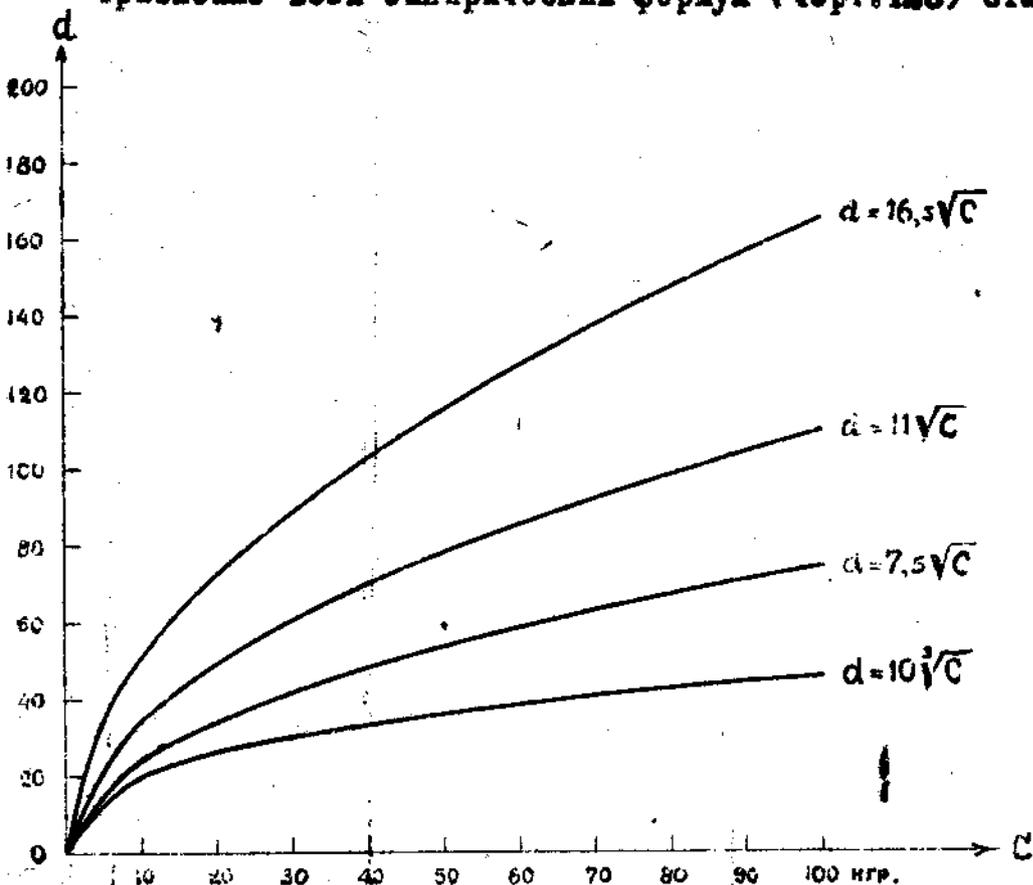
нылись расстояниями в 400-450 метров.

На опытах в *La soultina* в 1924 г. для определения зон разрушения применялись будки размером 3 x 2 метра, крытые черепицами или облицованным железом и снабженные застекленными рамами, при чем были установлены три зоны: 1) зона сильных разрушений (повреждение кирпичной кладки), 2) зона умеренных разрушений (повреждение рам, кровли) и 3) зона легких разрушений (выбитие стекол). Можно считать за радиус этих 3-х зон - 50 метров, 100 м. и 150 метров на каждые 100 кгр. мелинита.

Приведенные выше эмпирические формулы имеют почти одинаковые коэффициенты, отличаясь только показателем степени, действительно

$$d = 11\sqrt{C} \text{ и } d = 10\sqrt[3]{C}$$

Сравнение всех эмпирических формул (черт. 125) ставит



Черт. 125.

под большое сомнение правильность коэффициента при формуле $d = K \sqrt[3]{C}$, что же касается показателя степени в ней, то последний вполне подтверждается опытами X) и теоретическим последованием Rüdtenberga, когда речь идет о разрушениях, производимых импульсом, откидывая явления резонанса, при котором нужно учитывать продолжительность колебаний волны, как напр. разбитие форточек на значительном удалении от места взрыва, а также случаи, когда распространение волны задерживается препятствием.

Обстоятельство, что до последнего времени фигурирует в целом ряде трудов формула вида $d = K \sqrt{C}$ объясняет С.Г. Фехинпов тем, что 1) трудно провести вполне точно опыты и в широких пределах и во 2) эмпирические формулы являются весьма неблагоприятными, так как наличие в них постоянных коэффициентов, подготовляемых опытами, дали впечатление совпадения результатов опытов с формулой, пригодной лишь на небольшом участке.

Здесь нужно отметить, что вышеупомянутый подход к определению зон разрушения весьма мало пригоден для оценки возможных разрушений от действия средств поражения, так как он создает целый ряд трудностей для учета влияния сопротивляемости, прочности поражаемого объекта.

Учитывая трудность установления определенных степеней разрушения для разнообразных объектов имеется определенное стремление выразить пределы досягаемости этими мерами, а именно величинами давления, тогда в зависимости от прочности постройки (ее способность воспринять ту или иную нагрузку) будет определяться радиус разрушения. Необходимость в подобном расчете заставляет на основании отдельных опытных измерений давлений дать

X) Erwin Bollé. Explosion und Explosionswellen.

формулы для расчета. Прежде чем рассматривать имеющиеся формулы необходимо подчеркнуть важность выбора обших законов, которые играют существенную роль, как это видно из ниже приводимого примера, а также и установить обший закон. Известно, что взрыв заряда в 5000 кгр. на расстоянии 4 метров развивает давление в 1600 кгр/см², какой величины нужно ожидать давление на поверхности заряда? Вопрос интересный, но результаты получаются разнообразие в зависимости от выбранного закона падения давлений^x.

Выражение выбранного закона падения давлений.	Расстояние, на котором опред. давление.	Величина давления в кгр/см.
$\frac{P_2}{P_1} = \frac{R_1}{R_2}$	4 м.	1.600.000
	<u>4 м.</u>	<u>1.600</u>
	40 м.	160
	400 метр	16
Закон Бертело $\frac{P_2}{P_1} = \frac{R_1^2}{R_2^2}$	4 м.	1.600.000.000
	<u>4 м.</u>	<u>1.600</u>
	40 м.	16
	400 м.	0,16
По Риденбергу $\frac{P_2}{P_1} = \sqrt{\frac{R_1^3}{R_2^3}}$	4 м.	5.000.000
	<u>4 м.</u>	<u>1.600</u>
	40 м.	50
	400 м.	1.600

Экспериментальное измерение этого давления крайне трудно.

Для небольших зарядов были попытки измерять эти давления следующим образом (Норкинсон, Ландон и Гвинней). Укрепляли заряд к концу горизонтально подвешенной стальной штанги и измеряли скорость, с которой отбрасывался кусок стали слегка прикрепленной к другому концу штанги.

^{x)} Justow. Heeres-technik. 1927г.

Давление было определено порядка 20.000 кгр/см². Для больших зарядов первые фазы волны, благодаря высокой температуре и давлению пока измерения не поддаются.

Мы уже видели, что расстояния с весом В.В. связаны выражением $\alpha = K\sqrt{C}$, с другой стороны наиболее общепризнанным для давлений является закон падения их обратно пропорционально квадратам расстояния, тогда легко вывести формулу для расчета давлений в виде

$$P = K_{88} \frac{\sqrt{C^2}}{\alpha^2},$$

где коэффициент K_{88} должен быть установлен опытами.

Для определения примерной величины этого коэффициента K_{88} используем имеющиеся сведения о наблюдаемых величинах давлений.

Для этой цели составим следующую таблицу.

№ по пор.	Данные опытных наблюдений					Величина коэффициента K_{88}
	Кем приводится.	Зона разр. $\alpha = m\sqrt{C}$ в м.	Вес заряда С в кгр.	Удаленность места взрыва в метр.	Величина давления Р, в кгр/см ²	
1.	Justrow	46	100	150	0,04	41,3
2.	"	100	1000	500	0,04	100
3.	"	"	"	50	3,00	7
4.	Ritler	"	"	1000	0,02	200
5.	Justrow	170	5000	4	1600	87,5
6.	Burlot	16	4	7,5	0,38	8,5
7.	"	"	4	15	0,16	14,5
8.	"	10	1	5	0,39	9,75
9.	"	"	1	20	0,13	58
10.	"	"	9600	250	0,1	13,8
11.	"	210	9600	500	0,05	27,0
12.	Thomas		25	17,5	0,05 ^{*)}	2,0
					0,10	4,0

W. H. = 10

13.	„	0	0	0,05	6,0
14.	„	150	55	0,05	6,0
				0,10	12,0
15.	„	1000	125	0,05	7,8
				0,10	15,6

ПРИМЕЧАНИЕ: $K_{88} = \frac{Pd^2}{\sqrt{C^2}}$

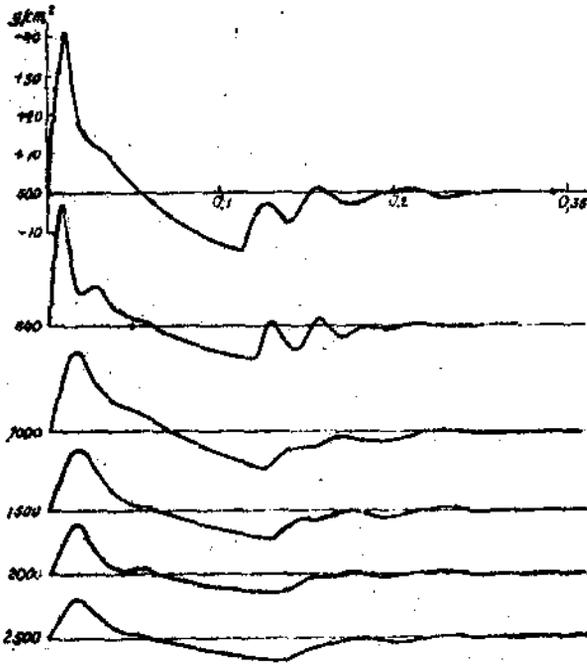
х) давления для случая 12, 13, 14 и 15 взяты по сопоставлению с давлением ветра, учитывая характер разрушения. Давление ветра может достигнуть величин в 0,04 кг/см².

Вычисленные коэффициенты сильно отличаются по величине, резко заметна разница результатов, полученных на основе данных Котрова, Риттера и Бюрло, что могло зависеть от методов измерения давления на опытах, напр. прибор - шиделерограф, примененный Бюрло повидимому давал преуменьшенные величины давлений, т.к. не было учтено трение, упругость сжимаемого воздуха в приборе.^{х)}

Затем заметно изменение величины коэффициента K_{88} (коэфф. растет) по мере удаления от места взрыва (сравните №2 и 4, №10 и 11, №8 и 9), особенно за пределами действия определяемого зоной разрушения. Это может быть объяснено изменением закона падения давлений в зависимости от удаления от места взрыва, действительно кривые (черт. 136) в связи с одновременными другими измерениями показывают, что наибольшее давление ударной волны падает обратно пропорционально удалению в пределах от 20 до 3000 метр. от места взрыва, ближе сохраняется закон обратно пропорциональности квадратам расстояния. Это явление также тесно связано с падением скорости распространения волны, о чем уже говорилось выше, замечено, что зона весьма больших скоростей, превышающих скорость звука, даже для больших взрывов ограничивается 200-300 метрами и эти же пределы

---^{х)} Муравьев. К вопросу о форме взрывной волны. Воля и Техника. 1929 г. №1.

определяют заметное разрушительное действие.



Черт. 126.

Наблюдение №

$$K'_{88} = \frac{Pd}{\sqrt{C}} = \frac{0,02 \cdot 1000}{\sqrt{1000}} = 2$$

№9

$$K'_{88} = \dots = \frac{0,13 \cdot 20}{\sqrt{1}} = 2,6$$

№II

$$K'_{88} = \dots = \frac{0,05 \cdot 500}{\sqrt{9600}} = 1,85$$

№I

$$K'_{88} = \dots = \frac{0,04 \cdot 150}{\sqrt{100}} = 1,29$$

Откуда в среднем величина коэффициента K'_{88} может быть взята равной **2**.

Относительно величины коэффициента K_{88} , если отбросить сомнительные результаты опытов Бэрло, затем наблюдения, относящиеся к другому закону (связанные с коэффициентом K'_{88}) останутся данные 75 и 87,6 и данные порядка 10 из опытов Thomas, выведенные на основе предположения относительно порядка величин давления, т.е. последние данные не могут быть вполне достоверными. Следовательно, остается отметить, что величина коэффициента K_{88} повидимому порядка 75 и во всяком случае не

Таким образом выясняется, что для расчета давлений в значительном удалении от очага взрыва необходимо пользоваться другой формулой, имеющей следующий общий вид

$$P = K'_{88} \frac{\sqrt{C}}{d}$$

Величина коэффициента K'_{88} может быть определена из опытных данных №№ 4, 9, II и I предыдущих таблиц следующим образом:

В результате устанавления формул в общем виде для расчета давления на основе имеющегося опытного и теоретического материала, мы пришли к следующему: 1) в пределах удаления от места взрыва на величину зоны заметных разрушений надлежит пользоваться следующей формулой:

$$P = K_{88} \frac{\sqrt[3]{C^2}}{d^2} \sin \alpha$$

при чем коэффициент K_{88} должен иметь величину порядка 10-75.

2) При удалении на большие расстояния надлежит пользоваться формулой

$$P = K'_{88} \frac{\sqrt[3]{C}}{d} \sin \alpha, \quad (\text{где } K'_{88} = 2.)$$

$\sin \alpha$ введен в формулы, чтобы подчеркнуть, что во всех случаях необходимо определять нормальные составляющие давления.

Ограничение этого угла (так как возможно ведь полное отражение) возможно только опытным путем.

3) Эти расчетные формулы дают величину давления при свободном взрыве в воздухе и безответственном распространении ударной волны в пределах полусферы над дневной поверхностью.

Коэффициенты верим только для А.В.В.

Теперь посмотрим какие имеются уже практические формулы определения давлений от взрыва в воздухе; таковых не много.

В пособии "Технические средства ПВО" издание ЭИ 1929г. приведен следующий расчет. Давление в какой либо точке стены при взрыве может, временно до проверки на опыте, определяться по формуле

$$P = 10 \frac{\sqrt[3]{C^2}}{d^2} \sin \alpha$$

обозначения прежние. Приведенную формулу можно считать справедливой при d от 7 до 30 метров и при C от 4 до 200 кгр. В сборнике статей "Защита жилых зданий от воздушно-химических нападений" 1930 г. на стр.19 приведены на стр.19 приведена формула типа $P = b \frac{C}{d^2}$,

для практического пользования рекомендуется коэффициент $b = 2$.

Первая формула отвечает теоретическому обоснованию, сделанному ранее, нужно только быть осторожным в пользовании коэффициентом 10.

Вторая формула вызывает возражения. Как мы видели закон Бертоло верен для взрыва в воздухе только в определенном пределе, т.е. рассматриваемая формула уже может быть верна только в каких-то пределах, затем положение, что давления прямо пропорциональны величинам зарядов, вызывает сомнение, так как известно, что давление на поверхности заряда есть величина постоянная, не зависящая от количества ВВ, давление же вообще по данным Justrow'a пропорционально корню квадратному из веса В.В.

Таким образом формула $P = 2 \frac{C}{d^2}$ по своей структуре является неудовлетворительной, посмотрим быть может она дает достаточно верные результаты, для чего опять используем таблицу опытных данных.

Взрыв 1000 кгр. на расстоянии 500 метров дает давление в $0,04$ кгр/см², а по формуле

$$q = \frac{2c}{d^2} = \frac{2 \cdot 1000}{500^2} = 0,008 \text{ кгр/см}^2$$

взрыв 100 кгр. на расстоянии 150 метров дал давление в $0,04$ кгр/см², а по формуле

$$q = \frac{2 \cdot 100}{150^2} = 0,0089 \text{ кгр/см}^2$$

наконец, взрыв 1 кгр. на расстоянии 20 метров дал давление воды в $0,13$ кгр/см², а по формуле

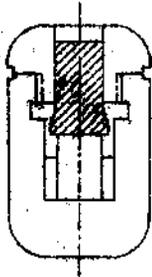
$$q = \frac{2 \cdot 1}{20^2} = 0,005 \text{ кгр/см}^2$$

- Это небольшое, правда, число примеров показывает, что рассматриваемая формула не может быть рекомендована для пользования без опытной проверки. Вообще нужно отметить, что в настоящее время окончательно установленных формул

нет, требуются дальнейшие опыты, требуются непосредственные измерения давления, тем более что современная техника измерений дает для этого достаточно средств.

Ознакомиться здесь с приборами применяющимися для измерения давлений от взрыва в воздухе.

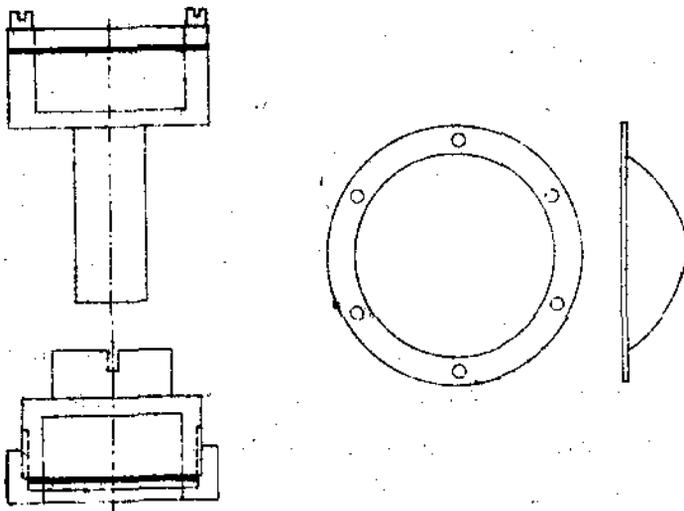
Используется метод Nobel'я (1863г.) с медными крем-



Черт. 127.

применяется стальной шарик, который надавливается на подкладку из мягкого металла, т.е. используется метод Бриенеля.

Применяются измерительные коробки, закрытые свинцовым листом, который под давлением продавливается (метод Volle' см. черт. 128), толщина листа берется порядка



Черт. 128

0,7 м., о величине давления судят по размерам получившегося кузола.

На Эбердинском полигоне применялись следующие приемы, правда для грубых сравнительных измерений. Один из способов состоит в следующем: на горизонтальном ните устанавливаются вертикальные мелкие плотные цилиндры, сделанные из дерева, различного поперечного сечения (фот. №129).

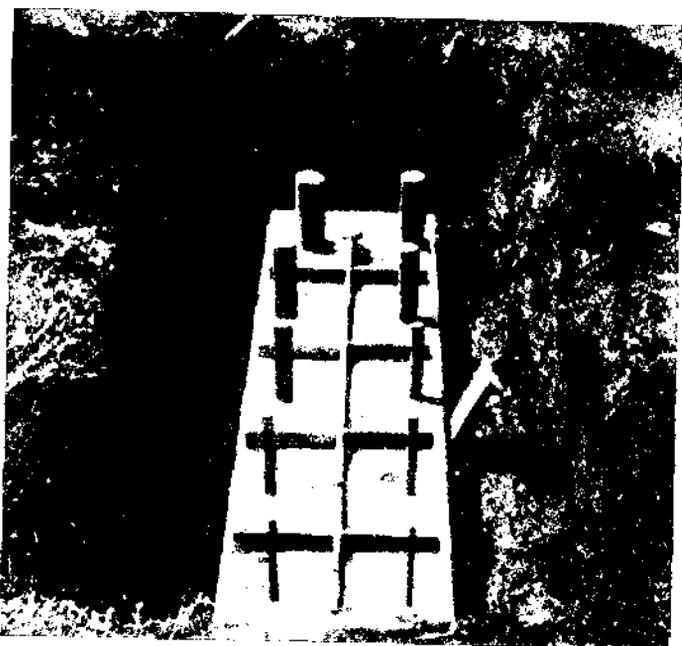
Чем сильнее взрыв, тем больше диаметр опрокинутых цилиндров, и наоборот слабый взрыв опрокинет одиночные цилиндры малого диаметра.

Другой способ состоит из нити снабженной отверстиями различного диаметра, которые заложены бумагой (фот. 130). Взрыв определенной силы разорвет бумагу у всех отверстий, имеющих некоторый соответствующий данному случаю размер, взрыв большей силы порвет бумагу при еще меньших отверстиях. Как уже отмечалось эти два приема только дают относительное суждение о порядке величины силы взрыва, они мало усовершенствованы и не дают точных определенных величин для эффекта взрыва.

Для целей измерения давление ударной волны может быть использован уже описанный прибор кульдоза, при чем он должен, благодаря своим особенностям (отсутствие остаточных деформаций) давать весьма точные результаты.

Burlot использовал медные и латунные ампулы цилиндрической формы, закрытые с обеих концов и обладавшие теми или иными размерами и определенными несимметрическим сопротивлением. Давление определяется по величине обжатия.

Все эти приборы дают только наибольшую ординату кривой давления, но время здесь отсутствует, для изучения давления во времени необходимы другие приборы, мембранные и пьезоэлектрические.

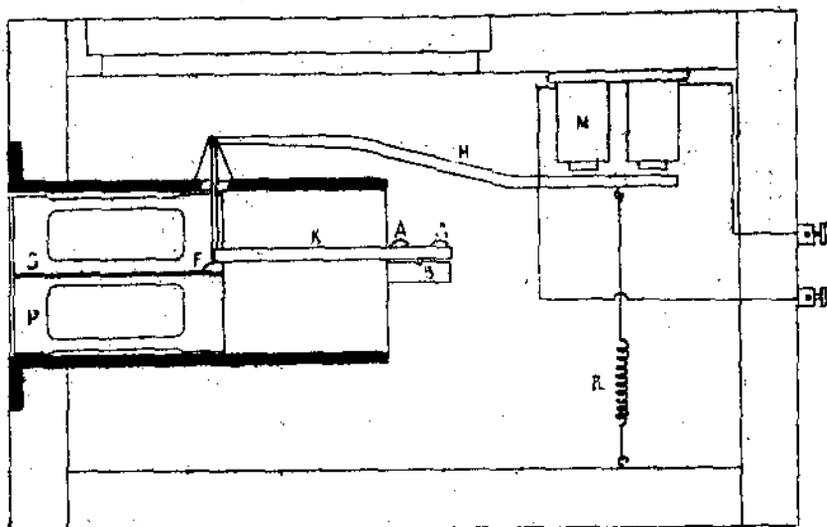


Фиг. 129.



Фиг. 130.

В числе первых можно привести акселерограф, примененный Burlot, имеющий следующее устройство (черт. 131)



Черт. 131.

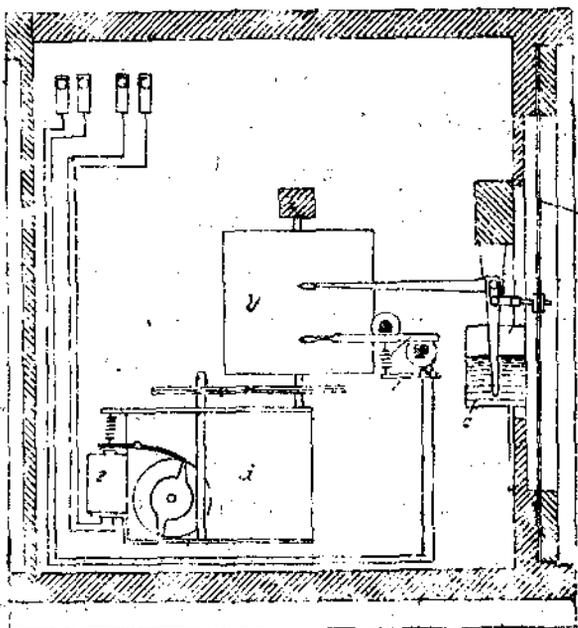
Главная его часть состояла из бронзового цилиндра С, в котором с возможно легким трением двигался поршень Р, сделанный из дуралюминия. По диаметральной плоскости поршня в нем укреплялась стальная пластинка S, которую предварительно покрывали слоем копоти. Камертон К, укрепленный при помощи соответствующей планки к цилиндру и снабженный острием F, при перемещении поршня чертил на закопченной пластинке кривую своих колебаний. Так как поршень при движении вдоль цилиндра не мог иметь вращательного движения около своей оси (имелось особое приспособление), то пластинка всегда оставалась параллельной самой себе и запись камертона весьма ясная. Винты А и А и призма В позволяли регулировать нажатие острия камертона на пластинку. Цилиндр С, открытый с обеих концов, был вделан в ящик, который при опытах подвешивался на проволоках так, чтобы ось цилиндра была строго горизон-

тажна и чтобы отверстие цилиндра было обращено в сторону очага взрыва.

Рычаг Н вместе с электромагнитом М и пружиной Р служит для приведения камертона в действие в момент взрыва.

Действие прибора происходило так: в момент взрыва при помощи электромагнита М и рычага Н камертон К приводился автоматически в движение и чертил на заколоченной пластинке, пока еще неподвижной, черточку на одном и том же месте. Когда же воздушная волна падала на прибор, то она сообщала толчок как всему ящику, так и поршеньку. Но так как поршеньек гораздо легче, то он получал большее ускорение, чем ящик и начинал двигаться в цилиндре. Теперь камертон на двигающейся пластинке начинал записывать свои колебания в виде синусоиды, но так как скорость поршенька с течением времени менялась, то и синусоида получалась с постоянно изменяющейся длиной волны. Этот прибор требует сложной обработки записей и имеет недостатки, отмеченные уже выше.

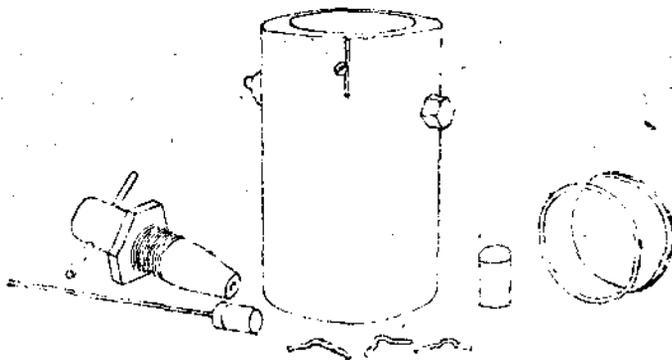
Из мембранных приборов нужно отметить прибор, примененный (черт. 132) Ritter'em.



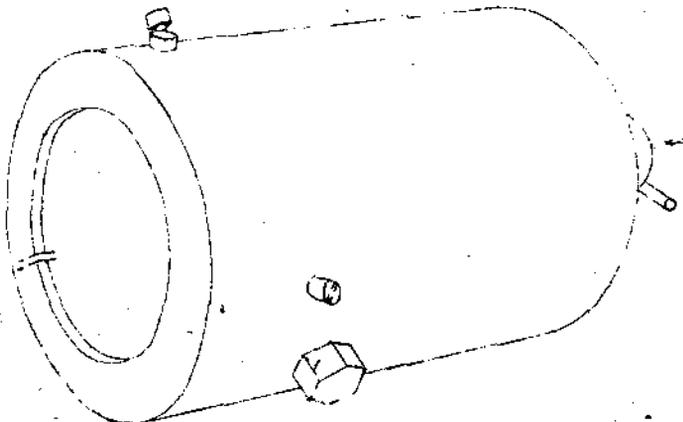
Черт. 132.

Здесь а - мембрана, б - барабан с натянутой на него бумагой, с - масляный глушитель, д - часовой механизм, е - электромагниты для пуска часового механизма, ф - пилуший магнит (ось времени). После подробного описания акселерографа действие этого прибора ясно из чертежа.

На фотграфиях 133 и 134 представлен пьезоэлектрический прибор (внешний вид и в разобранном виде) для из-

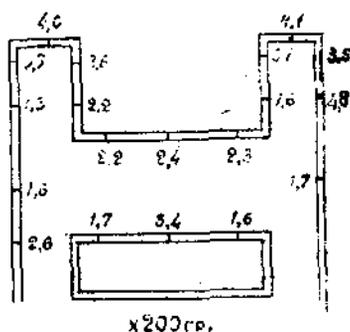


Черт. 133.

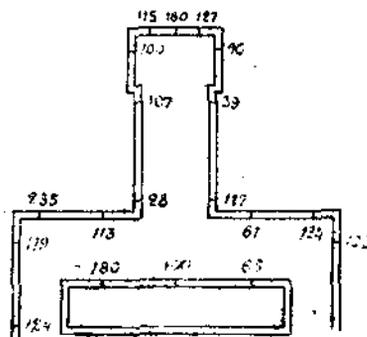


мерений давлений воздушной волны, из этих фотографий видно, что принцип устройства этого прибора тот же, что у описанного на стр. прибора.

Действие ударной воздушной волны при распространении ее в трубах и ходах. Даже при распространении волн в свободном пространстве и встречи преграды, расположенной под углом к другой преграде ожидается увеличение давления примерно в 1,4 раза. Падение скорости и энергии в этих случаях медленнее, а иногда может быть даже местное повышение давления. Разработанной теории в этой части еще не имеется. Впервые на эти явления обратил внимание *Vielle* и установил увеличение давления при отражении от крепких стен. *E. Bollé* проводил наблюдения над взрывами не более 300 гр. у моделей с различными ходами (черт. 135), при чем для объяснения о давлениях были



Черт. 135.



сх
Черт. 136.

использованы измерительные коробки с 0,7 мм. толщиной свинцовыми листами. На черт. 135 показана относительная величина давления в различных местах ходов при взрыве 200 гр. тола в удалении 30 см. от середины модели. Эти работы интересны, так как намечают пути к изучению правильных форм устройств для обеспечения входов, путем испытания различных моделей. *Ritter*^{x)} приводит пример взрыва 100 кгр. перед изломанным ходом (черт. 136).

x) V.D.I. Band 69 N 49. Ritter. Messungen bei Explosionen.

Образовавшаяся волна пошла по ходу и выявила отмеченную на черт.диграми распределение давлений. Почти в наиболее удаленной точке от входа было измерено наибольшее давление. Нужно иметь в виду, что одновременно с давлением повышается и температура ударной волны.

Вопрос изучения действия ударной воздушной волны в подобных условиях весьма важен для правильного конструирования отдельных деталей защитных построек, так как в мировая война дает примеры разрушительного действия волны, напр. при бомбардировке Вердена на форте Муленвилль; при разрыве 42 см. снаряда воздушная волна спустилась по лестничной клетке в подземное помещение, сорвав по пути несколько дверей и отбросив одну из них на 8 метр., пройдя расстояние приблизительно в 70 метров, и не взирая на 7 последовательных коленчатых коридоров, из которых 5 были под прямыми углами, двери и окна которых были открыты наружу - эта волна была еще настолько сильна, что валела с ног людей и вышибала двери^{х)}.

Попутно нужно изучить опытным путем явления при встрече воздушной волны с мелкими отверстиями (щель бойницы, забор воздуха и т.п.). Очевидно можно ожидать наличие давления, учитывая потерю энергии на преодоление сопротивления при входе волны, но порядок величин потерь нужно установить опытным путем, даже в лабораторных условиях, работая над моделями, как это делал Волле.

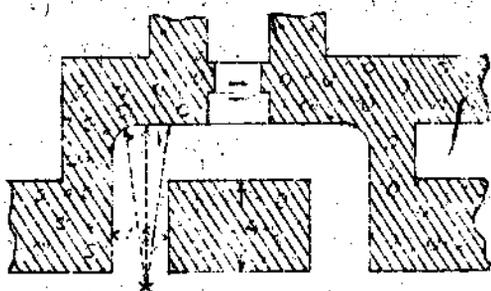
Пример расчета действия взрывной волны. Задаемся расчетом броневой двери нормального устройства^{хх)}, запирающей вход в башенную батарею. Броневая дверь прикрыта сквозняком (черт.137). Берем условия взрыва сна-

х) Крайность до и после мировой войны. К.И. Величко. 1922г.

хх) Броневые закрытия. Унгерман. 1928г. стр.165.

ряда 42 сан. орудия, несущего заряд В.В. весом в 106 кгр., тяжелые для входной двери, а именно в непосредственной близости от входа в сквозник.

Для определения в этом случае давления от ударной воздушной волны на броневую дверь, выделяем расчетный участок стены "ав", лежащий против входа, равный по площади двери, давление на этот участок стены будет равняться давлению на дверь, как это показали опыты по распределению давлений в сквозниковых входах (черт. 136). Поскольку удаление очага взрыва от стены "ав" равно $2,4 + 1,5 + 10,21 = 14,11$ метра, т.е. менее зоны разрушения для данного заряда, расчет давления ведем по формуле:



Черт. 137

равно $2,4 + 1,5 + 10,21 = 14,11$ метра, т.е. менее зоны разрушения для данного заряда, расчет давления ведем по формуле:

$$P = K_{вз} \frac{\sqrt{C^2}}{a^2} \sin \alpha$$

где $K_{вз}$ имеет величину от 10 до 75, берем среднее значение $K_{вз} = 40$. Ре-

зультаты вычислений представлены таблицей.

№ по пор.	Величина А в метрах.	Величина а в метр.	Величина $\sin \alpha$	$K_{вз} \sqrt{C^2}$	Велич. Р в кгр/см.
1.	0	4,11	1	900	53
2.	1	4,24	0,97	"	48,5
3.	2	4,58	0,90	"	38,5

ПРИМЕЧАНИЕ: А - обозначает расстояния точки, в которой определяется давление от вертикальной проекции центра взрыва. (см. черт. 138)

Таким образом, среднее давление на этот участок определяется порядка 45 кгр/см² (здесь существенно отметить, что тоже давление при коэф. $K_{вз} = 10$, было бы только порядка 10 кгр/см²).

Проверим участок дверного полотна с уголком жесткости $100 \times 100 \times 12$ мм. на эту нагрузку. Участок, приходящийся на уголок равен $60 \times 30 = 1800$ кв. см., откуда нагрузка от взрыва равна $1800 \times 45 = 81000$ кгр. Откуда изгибающий момент, учитывая особенности данного случая определим из выражения

$$M = \frac{p l^2}{12} = \frac{81000 \cdot 60}{12} = 400.000 \text{ кгр. см.}$$

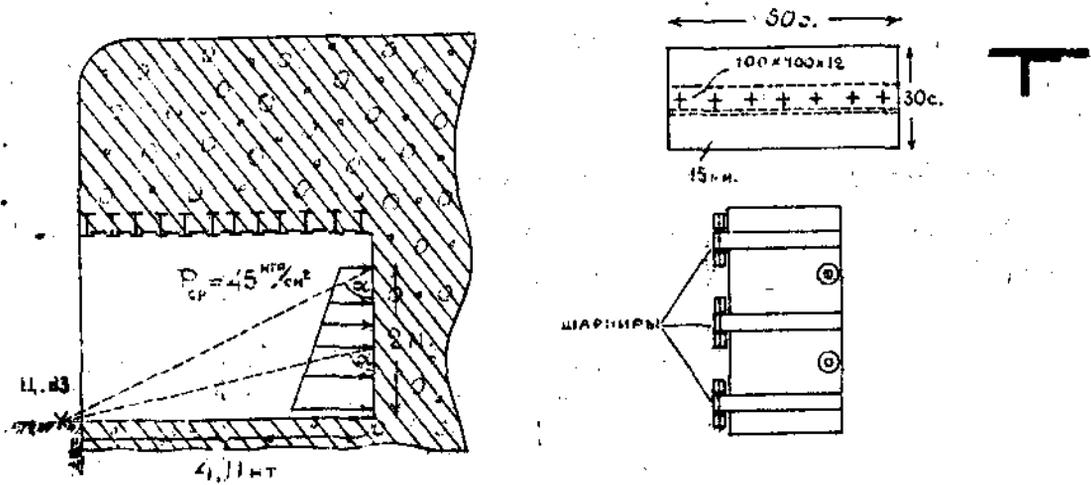
Момент сопротивления сечения, учитывая уголок и стальной лист толщиной 15 мм. будет порядка 100 см.³, откуда

$$R = \frac{M}{W} = \frac{400000}{100} = 4000 \text{ кгр/см.}^2$$

т.е. можно ожидать остаточных деформаций, а именно прогиба двери.

Кроме положительного давления, как это мы видели из кривых характеризующих изменения давлений, наступает вслед за ним отрицательное давление (разрежение), таким образом броневая дверь будет испытывать давление с противоположной стороны по величине не менее атмосферного, т.е. 1 кгр/см.² Расчитаем шарнирное крепление двери. Площадь дверного полотна $200 \times 100 = 20000$ кв. см., откуда общая нагрузка определится в 20.000 кгр., половина из нее передается шарнирам, т.е. последние должны сопротивляться нагрузке в 10.000 кгр. Это усилие воспринимает три шарнира, которых ось работает на перерезывание в 6 сечениях. Площадь каждого поперечного сечения шарнирной оси диаметром в 2,5 см. равна 4,9 кв. см., а общая площадь, работающая на перерезывание равна $4,9 \times 6 = 29,4$ кв. см. Если шарнирная ось стальная,

то допускаемое напряжение, учитывая динамический характер нагрузки можно взять в 400 кгр/см^2 , откуда получим, что шарниры могут выдержать усилие в $29,4 \times 400 = 12.000 \text{ кгр}$.



Черт. 138.

Г Л А В А У.

РАСЧЕТ ЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРОТИВ ОСКОЛОЧНОГО
ДЕЙСТВИЯ.

Краткие сведения об осколочном действии снарядов. Вес осколков и поступательная скорость их. Расчет пробивной способности осколков. Опытные результаты действия осколков по бетонным постройкам. Пример - расчет действия отката от шрапнели.

Осколочное действие, сопровождающее разрушительное действие каждого снаряда или аэробомбы, а иногда имеющее и самостоятельное значение, не имеет в настоящее время еще вполне исчерпывающей теории. Это зависит, как от сложности вопроса, так и от недостаточности надежных данных о числе, весе, скорости и рассеивании осколков, без которых, говорит Rohne, едва ли можно ожидать получения результатов, вполне применимых на практике.

Опытное измерение многих из этих данных, вследствие трудности постановки опытов, дает сильно колеблющиеся результаты, а измерения в непосредственной близости совершенно исключаются, так как разрыв снарядов действует разрушительным образом на измерительные приборы.

Наиболее подробные сведения об осколочном действии можно найти в статьях Justrow'a, каждая рассматривающая отдельные факторы, связанные с осколочным действием, так рассмотрение вопроса о числе и весе осколков мы находим в статье его "Теория осколочного действия гранаты, мины и других, подобных им снарядов".^{x)}

Конечно, число и вес осколков не являются решающими факторами осколочного действия, существенную роль игра-

x) Technik und Wehrmacht 1921г. Heft 9-12.

ет пробивная способность (как мы это увидим ниже) и дальность полета осколков, что зависит от приобретенной осколками скорости в момент разрыва. Опытным путем число осколков определяется путем подрыва снаряда в специально устроенной броневой яме и тщательным сбором и подсчетом веса и количества получившихся осколков. Результаты очень часто для одного и того же калибра снарядов получаются различные, что зависит от многих факторов, влияющих на действие взрыва, а именно: 1) вес разрывного заряда, 2) род В.В. 3) физические качества металла снаряда, т. е. в первую очередь от его вязкости, твердости и предела упругости, 4) калибра, 5) толщиной стенок снарядов, 6) формы снаряда и его конструктивных данных, 7) химического состава металла снаряда и способа обработки металла снаряда.

Поэтому можно сказать, что опытные данные при этих условиях не являются бесспорными и можно представлять себе получение достаточно приближенных результатов путем формулы, составленной с учетом по возможности всех вышеперечисленных факторов. Подобную формулу составил Юстров (Justrow). Не касаясь деталей вывода расчетной формулы, отметим только одно обстоятельство, имеющее для нас достаточный интерес, это, как Юстров представляет себе явление взрыва снаряда.

При разрыве снаряды избыток давления над прочностью, сопротивлением оболочки настолько велик, что не может быть и речи о последовательном возрастании давления внутри снаряда. Оболочка снаряда рвется значительно раньше, чем потенциальная энергия В.В. с'умевших целиком перейти в механическую энергию. Снаряд разрывается не сразу, а процесс разрушения, начинаясь у взрывающей, постепенно передается к противоположному концу. Следовательно, снаряд рвется постепенно на отдельные части, имеющие в зависимости от быстроты происходящего

взрыва большую или меньшую толщину, от чего будет зависеть и величина осколков. Значит, быстрота взрыва является главным фактором, обуславливающим хорошее разрушение осколочной гранаты и сильный, основанный на сотрясении воздуха, моральный эффект. Поучительно указание на возможность использования для изучения явления разрыва снаряда, усовершенствованного проф. Крунцом баллистического кинематографа.

Формула, составленная Юстровим имеет следующий вид:

число осколков Σ равно

$$\Sigma = \frac{\alpha Q}{D \frac{K_2 E}{6} \frac{x^2 - 1}{x^2 + 0,5}} = \frac{\alpha Q}{D} \frac{6}{K_2 E} \frac{x^2 + 0,5}{x^2 - 1}$$

где Q - вес разрывного заряда в граммах,

D - диаметр снарядов в сантиметрах, K_2 - временное сопротивление металла снаряда в кгр/мм², σ - допускаемое напряжение в кгр/мм², E - удлинение в %, x - среднее соотношение диаметров, α - коэффициент, зависящий от рода В.В., для пикриновой кислоты $\alpha = 50$.

Средний вес осколков q находится делением веса металла снаряда на число их:

$$q = \frac{Q - Q}{\Sigma}$$

На основе своих теоретических выводов Юстров составил таблицу расчетную (см. приложение 8), данные которой весьма близко подходит к фактически применявшимся снарядам, таким образом могут служить для суждения об осколочном действии.

Рассмотрение этой таблицы дает, что для расчетных калибров (15 и 20 см.) максимально возможный средний вес осколков соответственно равен 232 и 336 гр.

Для сравнения с этой теоретической таблицей ниже приводится таблица с результатами испытаний, проведенных Военно-техническим Комитетом в Вене, которые наглядно изображают осколочное действие.

x) *Voienstechnische Zeitschrift* 1930г. № 3 Виктор Чаянск, О действиях артиллерийских снарядов.

Поряд. номер.	Калибр и тип снаряда				Общий вес снаряда в кгр.	Взрывчатое вещество.		Тип взрывателя.	Отношение содержания взрывч. вещества к общ. весу снаряда в округл.
	Калибр в см.	Ф и ц.	Образец	Длина в калибрах		Состав.	Вес в кгр.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	2 см.		14	2,4	64	ТА ^{x)}	0.70	И.	11%
3			18	5,5	800	ТА	0.85		106%
4	10 см.		14	4.5I	160	ТА	1.3	В	7,8%
5			15	3.3I	13.5	60/40 ^{xx)}	1.45		10,7%
6	15 см.		13	3.15	41.0	60/40	5.60	Г	13.4%
7	42 см.		16/9	3.3	800	ТА	68,4	И	8.55
4	42 см.		14/9	3.7	1000	ТА	92,6		9.25
9	30,5 см.		II	3.8	385	Т ^{xxx)}	38,5	Д	9,95
10	7.5 см.	Граната Коупера-Ская стандарт			6.5	Пиркисл.	0,14		2.1%

Специф. нагрузка снаряда в окр. ругленки кг/см.	Число осколков при взрыве снар.	Плоскость поражения		Поис серьез-ных поране-ний.	Результат действия.
		Дл.	Шир.		
11	12	13	14	15	16
0.108	200	20	15	Отдельные осколки - особенно от стал. гранат приличеств. повреждения на двойном расстоянии. Поис серьезн. ранений в 3 и 4 раза больше, нежели это приведено в столбце 13 и 14 [см. также радиус, безопасности для взрыва снар-да в прим. II]	Сильное взрывчатое действие. Применено по слабо укрепленным цолям (стены, дома). Имелось действие за-жигания.
0.174	250	30	25		
0.204	230	30	25		Сильно взрив. и зажиг. действие по легким бетон. цолям.
0.150	250	35	30		Действие слабее чем у 10 см., образ. 14, принимаемая со вниманием худшее качество взр. в.в.
0.250	320	70	55		
0.578	900	200	150		
0.720	100	220	200		
0.533	700	150	110		
0.150 ^{oo}	150	30	25		

ПРИМЕЧАНИЕ (III): Необходимая толщина укрываемых стен (потолков) против осколков и против пуль:

- 1,2 см. особой стали.
- 1,6 см. плавк. сталь.
- 3,4 см. плавк. железо.
- 25 см. бетон (2½:1)
- 30 см. гравий, щебень между стен (2:1)
- 40 см. мешка с песком (2½:1)
- 50 см. стены из кирпича (2½:1)

- 60 см. твердое дерево (2½:1).
- 75 см. песок (3:1).
- 1.00 см. мягкое дерево, глина (3:1).
- 2.00 м. дерн.пластами (3:1).
- 2.50 м. утоптаный снег (3:1)
- 5.00 м. ржаные снопы (2½:1).

.....

Цифры назово показывают толщину против пули, толщина против осколков меньше отношения, приведенного в скобках.

.....

Для сравнения 2 см. бронебойная пуля пулемета " Ozlikon " пробивает закаленную стальную доску толщиной 3 см. на 50 м. и на 1,2 км. 15 см.

Бронебойная граната 4,7 см. орудия сопровождения " Bofoz " на 720м. 4см.

.....00.....

П. Расстояние безопасности (радиус) при взрыве снарядов: у калибров до 10 см. 500м. у калибров до 21 см.: 1000 м. у калибров от 21 см.: 1600 м. и у 42 см. гаубицы 2500 м.

х) Толуол аммонит.

кх) Тритол слабейшего действия.

кхх) Тритол чистый.

) Можем считать к в отношении около 75-86% общего веса гранаты.

о) Для сравнения указан один из типов.

oo) То есть около 50% общего веса гранаты.

.....00.....

Ш. Таблица составлена частично по H. Schmidt takt. handbuch 1915. Таблица разрушительного действия пули ружья Manlicher.

Оказалось, что наилучшего взрывного эффекта у гранаты можно достичь тогда, когда мы выберем отношение между весом тела и взрыв. вещества, чтобы общий вес гранаты "р" был около $14D^3$ (D = калибру в дм). Граната действует также своим взрывным (детонирующим) давлением, которое может иметь поражающее действие на определенном расстоянии, что зависит от количества взрыв. вещества. Моральный эффект гранаты растет приблизительно с калибра третьей мощностью, следов. у 15 см. гаубицы в 8 раз больше, нежели у 75 см. горного орудия.

.....00.....

Касаясь разрушительного действия по защитным постройкам интересен не только средний вес осколков, но и максимальный вес, к сожалению имеется мало данных для суждения о весе наиболее крупных осколков. Ниже приводим таблицу результатов взрыва 152 мм. снаряда, снаряженного различными взрывчатыми веществами.

Род взрывчатого вещества.	Селитро сероугольный порох.	Бездымный пероксилиновый порох.	Влажный пероксилин.	Медянит.
Число собранных осколков	63	145	244	392
Вес собран. осколков в кгр.	35,6	29,9	32,4	12,3
Наибольш. вес осколка в кгр.	4,9	1,2	1,2	0,4
Вес осколков не-собранных по их малой величине в кгр.	4,1	9,7	7,3	26,2

Данные этого снаряда следующие: вес 41 кгр., вес взрывного заряда - 1,23 кгр.^{х)}

Из этой таблицы видно, что наибольший вес осколков больше среднего в 8-10 раз, а учитывая, что в этом опыте далеко не собраны все осколки, так что средний вес может еще понизиться, что и видно, если сравнить эти данные с таблицей Юстрова, то можно ожидать увеличения разницы между средним и наибольшим весом.

Наибольшая разница наблюдается для селитро-сероугольного пороха, но поскольку в настоящее время снаряды снаряжаются дробящими взрывчатыми веществами нам представляется возможным взять соотношение между наибольшим и средним весом равным 8. Таким образом теперь мы можем

х) Д. КОЗЛОВСКИЙ. Артиллерия. Книга I, второе издание, стр. 165.

жем для каждого снаряда, пользуясь данными таблицы Юстрова, получить расчетный наибольший вес осколков, достаточно данные таблицы увеличить в 8 раз.

Кроме веса осколка, едва ли не первенствующую роль играет поступательная скорость осколка (ведь она входит в квадрате в выражение живой силы удара), но к сожалению в этой части имеется еще меньше данных. Чанек в своей статье, отмеченной выше, при рассмотрении угла разлета осколков у гранаты пользуется выражением, применяемым при расчете угла разлета у мины, а именно

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{S}{v + v_d},$$

но анализируя значения скоростей подчеркивает, что в данном случае отпадает скорость приобретаемая пулями, т.е.

$v_d = 0$, но зато S (скорость осколков в направлении перпендикулярном к касательной траектории полета), вследствие огромной силы, развиваемой взрывом заряда В.В., может достигнуть большой величины порядка 2000 метр/сек. Последняя данная совпадает с цифрой приводимой Е.Агокас,

а именно скорость, сообщаемая осколками при взрыве порядка 1500 метр/сек. Конечно такова скорость вблизи точки разрыва, но она должна быстро падать, так как форма осколков обычно неправильная. Особенно быстро теряют свою скорость осколки слишком малого веса. Имеется много указаний на быстрое падение скорости, поэтому нам представляется, что беря за расчетную скорость 1500-2000 метров, мы получим очень преувеличенные данные. Берем на себя смелость взять за расчетную скорость осколков - скорости в 500 метр/сек.

Учитывая неправильную форму осколков нам кажется лучше за расчетную данную брать живую силу осколков, ее максимально возможную величину.

Это тем более представляется целесообразным, что уже давно, при учете действия по живым целям, осколочное

действии, его убойность, определялось несомой осколками энергией, так для вывода человека из строя установлена необходимость иметь живую силу не менее 7,5 - 8 кг. метров, а для вывода из строя лошади - не менее 12,5 кг. метров, для надлома костей человека необходима живая сила удара 5 кг.метров, кости лошади - 16 кг.м., для заведомого раздробления костей человека нужно 17 кг.метров, лошади - 35 кг.метров ^{x)}. Обычно считают расстоянием с убойным действием то, на котором осколок или пуля обладает еще энергией в 15 кг.метр. Для опытного определения этого расстояния применяют еловую доску установленной толщины и наблюдают ее пробивание. Расчет производится следующим образом, напр. вес пули 10 гр., энергия ее

$$\frac{Mv^2}{2} = \frac{0,01v^2}{2 \cdot 10} = 15 \text{ кг.метр}$$

(ускорение силы тяжести берем приблизительно равным 10), отсюда определяем скорость пули $v = 170 \text{ метр/сек.}$

Юнглейс^{xx)} дальше дает следующий расчет ^{xx)} толщина еловой доски x определяется из следующей формулы:

$$x = 0,000093 dv^2,$$

где d - поперечник пули в мм., v - скорость пули в метр/сек. Для нашего примера $d = 12,2 \text{ мм.}$, откуда

$$x = 0,000093 \cdot 12,2 \cdot 170^2 = 32 \text{ мм.}$$

Следовательно, то расстояние, на котором упомянутая пуля пробивает крепкую еловую доску в 32 мм., мы можем принять за поражаемое.

Используя подобный метод не исключена возможность в решении обратной задачи, а именно определения живой силы осколков по результатам пробивания. Таким образом возможно установить максимальную энергию осколков, ко-

x) Mitteilungen über Gegenstände des Artillerie und Geniewesens 1911 г. СТАТЬЯ Nobile.

xx) Czanz, Lehrb. d. Ballistik. 4. I, 5 изд. стр. 460.

торая и является расчетной данной.

Перейдем теперь к расчету осколочного действия по защитным постройкам.

По постройкам способным сопротивляться целым снарядам или аэробомбам осколочное действие ограничивается поверхностным олоем, благодаря малой способности осколков к прониканию, нарушая его целость, нарушая напр. маскировочный слой. При действии же по легким сооружениям осколочное действие может быть губительным.

Облегчением для расчета является то, что осколки могут нанести поражение только механическим путем (действия взрыва нет), поэтому они могут поразить людей или нарушить целость постройки, только пробив ее ограждения.

Таким образом весьма сложней для данного случая вопрос проникания (неправ. форма осколков) для нас и не интересен. Вопрос же пробивания, величина которого мало зависит от формы, а главным образом от энергии удара, может быть разрешен при помощи уже приводившейся формулы пробивания

$$S^3 = K P U^2,$$

где S - пробиваемая толщина в сант., P - вес осколка в кгр., U - поступательная скорость осколка в метр/сек (нормально 500-600 метр/сек) и K - коэффициент, зависящий от среды:

для армированного бетона	- 0,10-0,15
" бетона	- 0,20
" кирпича	- 0,50

Учитывая высказанное нами выше мнение об удобстве учета осколочного действия козачей живой силой осколка, максимально возможной для каждого калибра снарядов, и формула пробивания может быть представлена в соответствующем виде, а именно

$$S = K_{оск} \sqrt[3]{E},$$

где S - имеет прежнее значение, E - живая сила удара

осколка = $\frac{Pv^2}{2g}$ в кгр. метрах и $K_{оск}$ - коэффициент, равный 29к, зависящий от среды:

- для армированного бетона - 2,00 - 3,00
- " бетона - 4,00
- " кирпича - 10,00

Расчет осколочного действия по металлу, броне - очень мало освещен теоретически. Расчетные формулы, применяемые для определения пробивного действия по броне цельных снарядов заключают в себе данные о форме (диаметр, периметр), что для осколков представляет достаточно неопределенную величину. Поэтому применение этих формул невозможно.

Как на один из грубых приемов подхода к определению защитной металлической толщи от осколков можно указать следующий прием: имеются сведения, что броня сопротивляется приблизительно в 7 раз лучше бетона, таким образом определив защитную бетонную толщину, можно от нее перейти к броневой.

Некоторые опытные сведения о сопротивляемости бетонных (железобетонных) построек осколкам можно найти в отчете об испытаниях на Рембертовском полигоне (вблизи г. Варшавы) в сентябре 1907г., где испытывались железобетонные закрытия от иррадиального огня. Закрытия эти имели покрытие толщиной 22,5 сант. (9 дюймов) и лобовую стенку толщиной 15 сант. (6 дюймов).

Эти закрытия обстреливались с расстояния 925 метров (435 саж.) иррадиелью: а) из двух 107 мм пушек при заряде 3,2 кгр. крупно зернистого пороха и начальной скорости 400 метр/сек. (1339 фут.) всего было выпущено 32 снаряда, б) из двух скоростельных пушек образца 1902, давших 9 выстрелов.

Характерное повреждение закрытий было сквозное пробитие покрытий типа Б стаканами иррадиелей.

Пули и осколки иррадиелей дали небольшие выбоины глубиной до 1,5 сант.

Подойдем к этому примеру с некоторым анализом. Посмотрим какие результаты можно было ожидать с точки зрения теоретического расчета.

Шрапнель при начальной скорости в 400 метр/сек. должна была иметь окончательную скорость на расстоянии 925 метров порядка 300 метр/сек, т.е. $v = 300$ метр/сек. Вес стакана шрапнели скорострельной 76 мм. пушки около 4 кгр., а 107 мм. пушки около 7 кгр.

Определим при этих данных пробиваемую толщину из армированного бетона:

$$S^3 = K P v^2 = 0,10.4.300^2, \text{ откуда}$$

$$S \approx 33 \text{ сант. (для 75 мм пушки)}$$

$$S^3 = 0,10.7.300^2, \text{ откуда}$$

$$S \approx 39 \text{ сант. (для 107 мм. пушки.)}$$

При установлении окончательной расчетной скорости нужно было учесть угол встречи (угол падения на этом расстоянии порядка нескольких градусов), но поскольку место попадания не зафиксировано в отчете на чертеже, мы отказались от уточнения этого вопроса.

Приведенный расчет подтверждается действием полученным на опыте.

По облегченным задатным конструкциям возможно ожидать, с достаточным разрушительным эффектом, действия пехотных огневых средств, станковых пулеметов, бонной артиллерии.

Если действие одиночных пуль поддается расчету на основе приводившихся формул, то действие массового огня из пулеметов определить расчетом невозможно. Некоторые опытные цифры здесь привести можно, так на тех же испытаниях на Рембертовском полигоне была произведена стрельба из пулеметов с расстояния в 200 метров, после 250 выстрелов в лобовой части одного из закрытий получена сквозная пробина, толщина в этом месте закрытия была 15 сант. В конструкциях имевших с внутренней стороны уголки свое железо, даже после 300 выстрелов не появлялось сквозной

пробитны, также хорошее сопротивление пулеметного огня оказали металлические плиты толщиной 19-20 мм.

Таким образом эти данные дают некоторый масштаб для расчетов, подчеркивают довольно легкую пробиваемость концентрированным пулеметным огнем бетонных и армированных толщ легких конструкций и позволяют сделать вывод, что части подверженные пулеметному огню должны быть или целиком металлическими или иметь поддерживающий сплошной металлический слой.

В лице 6-онной артиллерии легкие конструкции встретят серьезного противника. В среднем в числе орудий 6-онной артиллерии можно ожидать калибр в 45 мм., имеющий снаряд примерно весом в 2 кгр. и окончательной скоростью на боевых дистанциях порядка 200-250 метров. Эти вопросы еще требуют дальнейшего исследования.

Произведем сейчас несколько примеров расчета осколочного действия.

Пример I. Определить пробивную способность стакана прапнели. 75 мм. полевой скоростельной пушки.

Расчет ведем для особых условий, а именно: при падении с воздуха во время стрельбы по воздушным целям, считая высоту разрыва в 3 километра.

Вес стакана прапнели порядка 4 кгр.

Окончательную скорость при падении на землю определим из выражения предельной скорости, отвечающей равенству между весом стакана и сопротивлением воздуха

$$v_{\text{пред}} / \text{сек} = \sqrt{\frac{P}{K_{\text{воз}} \omega}}, \text{ где } P \text{ вес стакана}$$

$K_{\text{воз}}$ - аэродинамический коэффициент, порядка 0,03
и ω - площадь поперечного сечения. Таким образом

$$v = \sqrt{\frac{4}{0,03 \cdot 0,0038}} \approx 300 \text{ метр/сек.}$$

Если отбросить сопротивление воздуха и рассматривать стакан, как свободно падающее тело, то с высоты 3000 метров, он приобретает следующую скорость

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 3000} = 242 \text{ метр/сек.}$$

Это показывает, что предельная скорость в 300 метр/сек. с высоты в 3000 метр. будет достигнута.

Имея эти данные определяем пробивную способность по бетонной армированной и броневой плите.

$$\text{Для бетона } S = \sqrt[3]{K P v^2} = \sqrt[3]{0,2 \cdot 4 \cdot 200^2} = 31,7 \text{ сант.}$$

$$\text{Для армир.бетона } S = \sqrt[3]{0,1 \cdot 4 \cdot 200^2} = 25 \text{ сант.}$$

Толщина броневой плиты, как мы видели выше, может быть в 7 раз тоньше бетонной, т.е. для данного случая

$$S \text{ для брони} \\ = \frac{31,7}{7} = 4,5 \text{ сант.}$$

Для определения толщины брони пробиваемой стаканом можно было применить с некоторой условностью (форма головной части) и формулу Жакоб де Марра

$$v = 1530 \frac{d^{0,75}}{p^{0,5}} S^{0,7},$$

где v - окончательная скорость в метрах, d - диаметр снарядов в сантиметрах, p - вес снаряда в кгр. и

S - пробиваемая толщина в сантиметрах. Таким образом получим следующее выражение для S

$$200 = 1530 \frac{0,75^{0,75}}{4^{0,5}} S^{0,7} \quad \text{логарифмируя это выражение}$$

мы определяем, что $S = 3,4$ сант., т.е. вышеприведенный грубый прием дает представление о порядке величины разрушительного эффекта.

Пример II. Определить толщину бетонного и из армированного бетона закрытия против осколка 152 мм. снаряда.

По таблице Юстрова наибольший возможный средний вес осколка 152 мм. Снаряда равен 232 гр., т.е. наибольший

вес отдельных осколков будет порядка

$$832 \times 8 = 1856 \text{ гр.} \approx 2,00 \text{ кгр.}$$

Поступательная скорость в среднем равна 500 метр/сек.

Отсюда необходимые толщ будут следующие:

для бетона $S = \sqrt[3]{K P v^2} = \sqrt[3]{0,8 \cdot 2 \cdot 500^2} = 45 \text{ см.}$

для армир. бетона $S = \sqrt[3]{0,1 \cdot 2 \cdot 500^2} = 36 \text{ см.}$

При попадании же в толщ большие отходы нельзя предполагать, что разрушение будет на вышележащую глубину, так как осколки благодаря своей неправильной форме весьма мало способны к прониканию, особенно в прочные среды.

~~Секретно~~

З а к л ю ч е н и е.

Рассмотрев по возможности систематично различные методы расчета защитных фортификационных сооружений, внося по отдельным вопросам новые предложения после детального освещения их, все же необходимо подчеркнуть, что целый ряд вопросов остается разрешенным не в полной мере или даже совершенно открытым, напр. вопрос обеспечения входных отверстий, вопрос о значении забивки и т.п. Требуется дальнейшая работа в этой области.

Полное овладение расчетом защитных конструкций дает проектировщику в руки прекрасное средство, позволяет свободно выбирать тип конструкции и даже может указать направление эволюции выработанных опытом конструкций. Не имеет существенного значения, если некоторые расчеты будут не вполне научно, теоретически обоснованы, важно иметь хотя бы приближенный метод, так как действие средств поражения, как явление весьма сложное, еще крайне мало изучено.

Правдоподобный приближенный расчет может гарантировать от грубых ошибок, дает единообразие и сравнимость результатов, а также способствует устранению отрицательного влияния при определении конструктивных размеров, индивидуального понимания и опыта.

Безусловно окончательное разрешение вопросов расчета защитных конструкций возможно только после дальнейшего производства целого ряда систематических опытов с использованием всех достижений измерительной техники. С этой целью нами и были рассмотрены различные приемы измерения динамических нагрузок, а также применяемая при этом аппаратура. Необходимо опять подчеркнуть, что и техника измерения деформаций динамического характера разработана далеко не полно и в настоящее время в различных обла-

стях техники идет разработка соответствующих измерительных приборов, но последнее слово еще не сказано.

К приборам наиболее удовлетворяющим задачам изучения отдельных элементов защитных построек можно отнести пьезоэлектрические приборы и приборы "кандоса".

Для изучения в целом всего сооружения могут быть использованы различные сейсмические приборы соответственно переоборудованные.

Вполне очевидно, что устройство измерительной аппаратуры, выверка ее и тарирование, требует наличия лабораторий.

В заключение отметим, что методы расчета защитных конструкций могут найти и находят применение не только в военном строительстве, но и при разрешении отдельных вопросов гражданского строительства, напр. проектирование гидроямы для испытания ротора, ограждения которой должны выдержать удар обломков ротора при его разрыве.



ПРИЛОЖЕНИЕ I.

Таблица данных о фуражных автомобилях

№№ по пор.	Вес в килограммах		Размеры в м.к.			Ожидаемые скорости в метр/сек. при высоте метания в метрах		
	Полный вес P	Заряд C	d	D		1000	2000	3000
1	92	5	142	335	151 MAX	-	-	227 MAX.
2	16,4	8	170	485	-	152 MAX.	-	250 MAX
3	30	15	200	545	-	201 MAX.	-	-
4	50	25	230	940	-	-	-	227 MAX.
5	100	50	240	1300	-	-	-	250 MAX
6	200	80	360	1500	-	-	-	250
7	500	300	500	1750	140	190	190	220
8	2500	1500	635	4000	140	190	190	230

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.

КОЭФФИЦИЕНТЫ ПОДАТЛИВОСТИ СРЕДЫ

ПРОНИКАНИЮ K_n .

№ п/п	Грунты, материалы и кладки	а
1.	Свеже насыпанная земля	0,000013
2.	Глинистый грунт (мокрый) и болот. почва	0,000010
3.	Песчаная насыпь (неслежавшаяся)	0,000009
4.	Глина плотная	0,000007
5.	Земля плотная, обыкновен. грунт	0,0000065
6.	Суглинок	0,000006
7.	Супесок	0,000005
8.	С о с н а	0,000006
9.	П е с о к	0,0000045
10.	Песок смешанный с хрящем	0,0000045
11.	Кирпичная кладка на цементе	0,0000025
12.	Булыжный камень, плотно уложенный	0,0000025
13.	Скала известковая или песчаниковая	0,000008
14.	Скала гранитная	0,0000016
15.	Бетон состава 1:2:4 из гранитного щебня	0,0000013
16.	Бетон состава 1:2:4 из гранитного щебня, выдержанный	0,000001
17.	Бетон из глино-земного цемента	0,0000007

КОЭФФИЦИЕНТЫ ПОДАТЛИВОСТИ СРЕДЫ ВЗРЫВУ $K_{вз}$.

№№	Грунт, материалы и кладки	
1.	Земля свежe насыпанная, слабый грунт	0,60
2.	Земля плотная, обыкновенный грунт	0,53
3.	Песок плотный.....	0,45
4.	Дерево.....	0,30
5.	Кирпичная кладка на цементном растворе, крупный булыжный камень, плотно уложенный.....	0,25
6.	Бетон литой, состава 1:2:4, из гравия, возрастом около 3-х мес.	0,21
7.	Бетон состава 1:3:7 из гравия, возрастом около 1 года	0,19
8.	Бетон состава 1:2:4 из гранитного щебня, возрастом 1 года, склада без трещин.....	0,175
9.	Бетон состава 1:1, 5:3 из гранитного щебня, возрастом около 1 года.....	0,15
10.	Армированный бетон.....	0,13

v мт./сек	F_e								
90	240	170	1130	250	2120	330	2520	440	2900
100	290	180	1350	260	2180	340	2560	480	3020
110	340	190	1510	270	2240	350	2600	520	3140
120	410	200	1640	280	2290	360	2630	560	3260
130	500	210	1770	290	2340	370	2670	600	3380
140	630	220	1870	300	2390	380	2700	640	3500
150	760	220	1930	310	2440	390	2740	680	3620
160	930	240	2050	320	2480	400	2770		

Эта таблица отвечает коэффициенту $K = 1$

В основании формулы Nobile лежит формула Pétry, данная им в 1910 г. в виде

$$S = \frac{P}{(2R)^2} K \cdot f(v),$$

где S проникание в метрах, P вес снаряда в кгр., $2R$ - диаметр в сант.

и коэффициент K зависящий от среды имеет следующие значения

$K = 0,64$ - для бетона.

$K = 2,94$ - для песка.

„ = 0,94 - для хорошего
кванд.

„ = 3,86 - для растит.зем-
ли.

„ = 1,63 - для хорошего
кирпичной
кладки

„ = 5,87 - для глинист.грун-
та.

$f(v)$ зависит от окончательной скорости v , метр.сек.

v_0	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260
$f(v_0)$	0,33	0,72	1,21	1,76	2,36	2,97	3,58	4,18	4,77	5,34	5,89	6,41
v_0	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500
$f(v_0)$	6,92	7,40	7,87	8,31	8,74	9,15	9,54	9,92	10,29	10,64	10,98	11,30

ТАБЛИЦА ВЕЛИЧИН В.

U мт./сек	B	U мт./сек.	B	U мт./сек.	B	U мт./сек	B
100	0,176 29	200	0,477 29	300	0,740 24	400	0,954 19
110	0,205 31	210	0,506 28	310	0,764 23	410	0,973 19
120	0,236 30	220	0,534 28	320	0,787 22	420	0,998 19
130	0,266 31	230	0,562 27	330	0,809 22	430	1,011 18
140	0,297 30	240	0,589 26	340	0,831 22	440	1,029 17
150	0,327 31	250	0,615 26	350	0,853 21	450	1,046 18
160	0,358 30	260	0,641 26	360	0,874 21	460	1,064 17
170	0,388 30	270	0,667 25	370	0,895 20	470	1,081 17
180	0,418 30	280	0,698 24	380	0,915 20	480	1,098 16
190	0,448 30	290	0,716 24	390	0,935 19	490	1,114 16
200	0,477	300	0,740	400	0,954	500	1,130

Т а б л и ц а
величин коэффициентов γ' для продолговатых снарядов.

Н а з в а н и е с р е д ы	γ'
Каменная одежда хорошего качества.....	0,624
Каменная одежда среднего достоинства.....	0,783
Кирпичная одежда.....	0,939
Бетон крепкого состава.....	0,200
Бетон слабого состава.....	0,409
Г р а н и т.....	0,647
Финляндский гранит.....	0,324
Песок, смешанный с хрящем.....	1,961
Песчаная, слежавшаяся насыпь.....	4,793
Глинистый грунт, смешанный с песком.....	2,555
Свежая глина.....	5,199
Слежавшаяся глина.....	3,554
Слежавшаяся насыпь, покрытая растительностью.....	2,577
Дуб, бук, грабина, ясень.....	1,639
В я з.....	2,100
Ель, береза.....	2,897
Т о п о л ь.....	3,083

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

КОЭФИЦИЕНТЫ ПОДАТЛИВОСТИ СРЕДЫ
ОТКОЛУ K_0 .

№№	Наименование кладок	
1.	Кирпичная кладка на цементном растворе	0,86
2.	Бетон укрепший состава 1:3:7	0,65
3.	Бетон укрепший, состава 1:2:4	0,60
4.	Бетон укрепший, состава 1:1:5:3	0,52
5.	Бетон армированный	0,47
6.	Тот же армированный, усиленный в нижней части примесью обрезков из проволоки, толщ. 1,25 мм	0,34

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Т а б л и ц а

№№ п/п	Грунты и кладки	Вес 1 м. ³ грунтов (кг)	Величины R (кг) для по- рока.
1.	Свеже насыпанная рых- лая земля	1360	0,40
2.	Желтоватая песчаная земля	1500	0,78
3.	Земля с песком и гра- вием	1850	0,79
4.	Растительная земля	1500	0,89
5.	Плотный чистый песок	1760	0,99
6.	Влажный песок	1880	1,04
7.	Крепкий песок (супесок)	1820	1,05
8.	Земля, смешанная с кам- нем	1890	1,11
9.	Крепкая синяя глина..	1810	1,12
10.	Песчаная глина (сугли- нок)	1780	1,12
11.	Хрящеватый грунт	1950	1,13
12.	Сыпучий песок	1620	1,18
13.	Глина с супеском и ка- менот. грунт	1980	1,22
14.	Синяя глина с глыбца- ми	2280	1,33
15.	Песок, смешанный с твер- дыми комьями супеска ..	1790	1,34
16.	Чрезвычайно крепкая глы- на..... ^{х)}	1920	1,55
17.	Скала известковая без трещин	2280	1,76

х) При существовании в скале значительных трещин значения R могут быть уменьшены в 1,5 - 2 раза.

18.	Скала гранитная или гнейсовая ¹⁾	2700	2,09
19.	Плохая каменная кладка		1,02
20.	Посредственная	от	1,22
21.	Хорошая кладка		1,76
22.	Очень хорошая кладка на цементе	1690	1,97
23.	Каменная кладка римской постройки из естественного камня на цементе	до 2460	2,31
24.	Хоробий цементно-гранитный бетон	2020	2,94

КОЭФФИЦИЕНТЫ ПОДАТЛИВОСТИ СРЕДЫ РАЗРУШЕНИЮ K_p .

№ п/п	Грунты и кладки	
1.	Свеже насыпанная рыхлая земля	1,4
2.	Земля с песком и гравием.....	1,12
3.	Обыкновенный грунт (растительная земля).....	1,07
4.	Плотный чистый песок.....	1,04
5.	Влажный песок, супесок, плохая камен.кладка.....	1,00
6.	Земля, смешанная с камнями, крепкая синяя глина, суглинок....	0,99
7.	Хрящеватый грунт.....	0,98
8.	Сыпучий песок.....	0,97
9.	Глина с супеском и каменистый грунт, посред.камен.кладка....	0,96
10.	Синяя глина с глыбами, песок	0,94
11.	Скала известняковая или песчаниковая без трещин.....	0,92
12.	Чрезвычайно крепкая глина (красная).....	0,88
13.	Скала гранитная или гнейсовая без трещин.....	0,87
14.	Кладка из естественного камня на цементе.....	0,84
15.	Хороший цементно-гранитный бетон.....	0,77
16.	Армированный бетон.....	0,60-0,70

ПЕРЕЧЕНЬ

основных источников

1. Забудский. Внешняя баллистика. 1895 г.
2. К. Вейничко. Исследование новейших средств осады и обороны сухопутных крепостей 1890 г.
3. Отчет о заседаниях бывших в конференц. зале Ник. Инж. Акад. для обсуждения вопроса о действиях бомб торпедо на бетонные покрытия казематов. 1890 г.
4. Житкевич. Применение железо-бетона в крепостных сооружениях. 1907 г.
5. Рудницкий. Опыт применения железо-бетона к фортификации. 1908 г.
6. Труды Российского Морского Союза 1908 г. Сент.-Окт. Доклад Карлинского.
7. Арено и Ильшев. Современное устройство боевых и жилых казематиров. помещений. 1908 г.
8. Н. Буйницкий, Ф. Голенин, В. Яковлев. Современное состояние долговременной и временной фортификации. 1913 г.
9. Н. Н. Давиденков. О пределе упругости при ударе. Известия СПб. Политехнич. Института. 1913 г.
10. Н. Н. Давиденков. Опыт измерения динамич. прочности стали.
11. Голицын. Сейсмометрия. 1912 г.
12. Голицын. К вопросу об исследовании колебаний зданий.
13. Н. Г. Мальчиковский. Инженерно-артиллер. вопросы. 1914 г.
14. Руденберг. О скорости распространения и силе скачков уплотнения. Перевод 1921 г.

15. Величко. Крепости до и после мировой войны. 1922 г.
16. Сапожников. Теория взрыв. веществ. 1926 г.
17. Н. Коханов. Технические средства защиты при воздухоимобороне транспорта. 1927 г.
18. И. Сахновский. Железобетонные сооружения.
19. Тимошенко. Сопротивление материалов.
20. Успехи физических наук. 1928 г. вып. 2 том УИ.
21. Известия Научно Мелирацион. Института, вып. XVI 1927 г.
22. Сборник Д.И.И.П.С. Вып. 96. 1927 г.
23. Агонас. Воздушная артиллерия, 1928 г.
24. Эсклангон. Акустика орудий и снарядов. Перевод 1929 г.
25. С.А. Хмельков и Н.И. Унгерман. Основы и детали устройства назематиров. сооружений. 1924 г.
26. Оттонхеймер. Внутренняя баллистика. Перевод. 1920 г.
27. Отчет о николаевских, кронштадтских, березанских, на Рембертовском полигоне, на Волковом поле и др. опытах.
28. Журналы: Инженерный журнал "Война и Техника" "Известия ВТА" и др.
29. Leithner. Die beständige Befestigung und festungskrieg 1894 г.
30. Cochetoux. Etudes sur les mines militaires. 1878 г.
31. Prochaska. Betoniesenkonstruktionen im Festungsbau. M. über q. des Art. und Geniewesens. 1917 г.
32. A. Nobile de Georgi. Geschosswirkung 1911 и 12 г. (М. Аи 9).
33. Föpl. Drang und Zwang. 1920 г.
34. Philosophical Magazine 1921. oct. Keys.
35. Beton und Eisen. 1921. Versuche mit Fall und Explosionsenergie bei Eisenbetonbalken.
36. Ingeniors Vetenskaps Akademien. 1921. Handlingar N2.
37. Tidskrift i fortifikation. 1924.

38. Flierl. Der feste stose und der Sprengstoss gegen der freiaufliegenden Balken Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik. 1925.
39. /Mechan. Eng. 1926. Experiments in Interior Ballistics.
40. Barré. Sur la theorie des fourneaux de mine. Comptes rendus des seances de l'académie des sciences. 1926.
41. Burlot. Etude experimentale des ondes de choc aériennes Memorial de l'artillerie française. 1926. t.V 3f.
42. Erwin Bolle. Explosion und Explosionswellen. Handbuch der Physikalischen und technischen Mechanik. 1927.
43. Cranz. Lehrbuch der Ballistik. 1925.
44. Журналы: Heerestechnik: 1927 ; Zeitschrift für das gesamte Schiess und Spengstoffwesen, 1927, Rivista di Artigleria e Genio 1927, Revue de Genie Militaire, V. D. J. Vojensko technicke Zpravci 1930, и др.
45. Spengvorschrift.

Служба технической помощи
Кавказскому фронту
В. Т. А.