

## Некоторые вопросы методики определения количественных параметров удара в боевых единоборствах

Одним из основных параметров, характеризующих удар в боевых единоборствах, является сила удара. К тому же этот параметр очень нагляден и кажется понятным и легко объяснимым даже на бытовом уровне. Поэтому он часто используется практически в любой литературе, посвященной боевым единоборствам как простая и очевидная оценка эффективности того или иного удара.

Но при ближайшем рассмотрении не все здесь оказывается таким уж простым.

Многие авторы при определении силы удара исходят из второго закона Ньютона. Согласно этому закону сила  $F$ , действующая на тело массой  $m$ , придает ему ускорение  $a$ , то есть

$$a = F/m \quad (1)$$

Отсюда логично предположить, что ударная конечность массой  $m$ , двигаясь с ускорением  $a$ , “обладает” силой удара  $F$ .

Понятно, что такое утверждение физически неверно - тело не может обладать силой, то есть сила не представляет собой какое-то свойство тела, она является внешней по отношению к телу.

Из формулы (1) следует, что ударная конечность, движущаяся равномерно с какой угодно скоростью, вообще не “обладает” ударной силой, потому что ускорение при этом равно нулю. Но если представить ускорение как скорость изменения скорости  $a = v/t$  и вспомнить, что ударная конечность начинает двигаться из состояния покоя, то есть в начале удара она обладает скоростью  $v_{нач} = 0$ , то формула (1) приобретает вид

$$F = (v \cdot m)/t \quad (2)$$

$$\text{Где } v = v_{кон} - v_{нач}$$

Именно эту формулу приводят при определении силы удара. Здесь, нам кажется, законы физики вполне соотносятся с нашим опытом: сила удара зависит от массы ударной конечности (в конечном счете - это вес бойца), от скорости ударной конечности в конечной точке траектории ее движения и от времени, за которое эта скорость была достигнута (это резкость удара).

Интересна такая вот трактовка резкости удара. На практике (во всяком случае, в быту) используется именно это определение резкости, хотя к истинной резкости удара она не имеет никакого отношения.

Хотя во втором законе Ньютона ничего не говорится об ударе, движение ударной конечности вполне согласуется с этим законом. Но при этом надо принимать во внимание два замечания.

Во-первых, строго говоря, нельзя утверждать, что сила  $F$  в формуле (2) - это сила удара. На самом деле - это сила, которую приложил боец к ударной конечности, чтобы придать ей скорость  $v$ . Но зависимость здесь, очевидно, прямая: на прикладном уровне это выражается простой формулой - чем сильнее боец, тем сильнее удар.

Во-вторых, если рассматривать удар как поражающий фактор, сама по себе сила в формуле (2) ничего не значит - необходимо рассматривать воздействие этой силы на мишень.

Здесь часто идут по пути упрощения. Хотя об этом не говорится прямо, но это следует из логики рассуждений: сила, которая воздействует на мишень, считается равной силе, которую боец прикладывает к ударной конечности.

При этом вид формулы (2) остается неизменным: здесь  $m$  - по-прежнему масса ударной конечности,  $v$  - скорость ударной конечности, а вот для времени  $t$  вводится другое значение - это время взаимодействия с мишенью.

По всей видимости, авторы этого определения исходят из того, что после того, как процесс проведения удара достиг какой-то определенной фазы, далее он становится неуправляемым, и время взаимодействия с мишенью (при неизменных параметрах последней) зависит только от массы ударной конечности и от набранной ею скорости. (Какая это фаза, на практике весьма

различается, но для простоты можно считать, что это та фаза, на которой скорость ударной конечности достигает максимума.)

Вообще, смысл этого введенного “времени взаимодействия с мишенью” не очень ясен.

В элементарной физике время взаимодействия двух материальных тел изменяется от нуля при абсолютно упругом ударе до бесконечности при абсолютно неупругом ударе. И это время определяется свойствами взаимодействующих тел.

Процесс взаимодействия ударной конечности с мишенью при реальном ударе, наверное, можно рассматривать как некий промежуточный вариант, но, все равно, такое время взаимодействия должно сильно зависеть от материала соударяющихся тел.

На практике это, возможно, верно только для неуправляемого удара, как об этом сказано выше. На самом деле нет никаких физических ограничений для бойца, чтобы он, продолжая управлять ударной конечностью, прекратил удар в любой точке его траектории, сводя время взаимодействия с мишенью к какой угодно малой величине, вплоть до нуля. И это время не будет зависеть ни от массы ударной конечности, ни от ее скорости, ни от материала мишени. То есть уменьшение времени взаимодействия с мишенью не носит того очевидного смысла, который следует из формулы (2).

Продолжая руководствоваться этой формулой и принятым определением времени  $t$ , можно прийти к выводу, что, при всех прочих равных условиях, чем меньше время взаимодействия с мишенью, тем больше сила удара. То есть, при времени взаимодействия с мишенью, равном нулю, сила удара будет максимальной. А на практике время взаимодействия с мишенью, равное нулю, означает, что удар попросту не попал по мишени.

Из этих же рассуждений следует, что не имеет значения скорость ударной конечности - она может быть какой угодно, лишь бы время взаимодействия с мишенью было достаточно мало.

Вероятно, такой подход к определению силы удара возможен, но для весьма ограниченной категории ударов. В арсенале любого вида единоборств присутствуют удары, когда боец перестает прикладывать силу к ударной конечности после соприкосновения с мишенью (или раньше), но такими ударами не ограничивается все их разнообразие.

Введение косвенным образом некоторых граничных условий имеет смысл именно для таких ударов. Из практики выводится, что время взаимодействия с мишенью при эффективных ударах должно лежать в пределах 15-18 мс. Тогда при такой фиксации времени очевидно, что для увеличения силы удара необходимо увеличивать массу ударной конечности или ее скорость.

По нашим представлениям, использование такой методики определения силы удара уводит от истинного понимания эффективности удара как поражающего фактора и затрудняет его объективную - количественную - оценку.

Сама по себе сила, определенная формулой (2), может представлять только теоретический интерес. Сила удара как поражающий фактор проявляется только при взаимодействии ударной конечности с мишенью. Ведь и физически удар определяется как совокупность явлений, возникающих при столкновении тел.

А методика, заменяющая оценку силы собственно удара оценкой некоего потенциала, которым обладает ударная конечность, не то, чтобы ошибочна, она - недостаточна. С одной стороны такое упрощение кажется логичным и необходимым, но, вместе с тем, оно, все равно, не дает того инструмента, который бы позволил перейти с уровня качественного (и субъективного) анализа потенциала бойца на уровень количественной оценки поражающего фактора его удара.

При использовании принятой методики эффективная масса ударной конечности оценивается приблизительно как какой-то процент от общей массы бойца, а измерение скорости ударной конечности требует сложной аппаратуры и скрупулезного проведения измерений, так что такие измерения проводятся только в научных исследованиях.

Но даже проведение подобных измерений не дает правильной величины скорости ударной конечности. Ведь в формуле (2) значение скорости должно быть мгновенным и соответствующим скорости в момент соприкосновения конечности с мишенью, а измерения дают только среднюю скорость прохождения ударной конечностью граничных точек. При этом опять же предполагается, что конечность после придания ей достаточного ускорения становится неуправляемой, и ее скорость в момент соприкосновения с мишенью равна измеренной средней скорости. Но даже

если удар выполняется технически правильно, и рука до соприкосновения с мишенью расслаблена, напряжение кисти в этот момент приводит к напряжению мышц в предплечье и плече, и скорость ударной конечности значительно уменьшается. А учесть такое уменьшение скорости никакие измерения не могут.

Кроме того, удары такой техники составляют лишь часть боевого арсенала любого из видов единоборств. Принятая методика не позволяет даже приблизительно оценивать те удары, которые остаются управляемыми после соприкосновения ударной конечности с мишенью. Например, когда при ударе рукой к потенциалу предплечья и плеча последовательно добавляются потенциал корпуса, а затем и нижних конечностей. Мы оставляем в стороне рассмотрение техники выполнения таких ударов, но описание такой техники встречается практически в любом руководстве по ударным видам единоборств.

Используя формулу (2) при определении силы ударов, выполненных таким образом, возможно учесть вклад добавляемых кинематических звеньев увеличением эффективной массы ударной конечности, но вопрос с определением скорости остается совершенно неопределенным. К тому же использование такой техники увеличивает время взаимодействия с мишенью, что согласно этой же формуле, приводит к уменьшению эффективности удара, а это, отнюдь, не согласуется с практикой.

Таким образом, можно сделать вывод, что принятая методика определения силы удара, выраженная формулой (2), приводит к двум затруднениям: во-первых, определение исходных данных, входящих в формулу, весьма проблематично, и, во-вторых, эта формула не обладает полнотой, учитывающей все виды ударов, используемые в боевых искусствах.

Очевидно, что для боевых искусств эффективным является тот удар, который выводит противника из строя. Оставаясь на качественном уровне, можно сказать, что вывод противника из строя является следствием нанесения ему травм различного характера, то есть следствием нанесения ему “разрушительных” ударов.

Но на практике оценить эффективность удара таким образом удастся весьма редко. И все, зачастую, сводится к тому, что если субъективно удар выполняется правильно, то он должен быть эффективным, а количественные параметры “правильного” удара по-прежнему остаются неизвестными.

Принимая во внимание все вышеприведенное, мы предлагаем заменить оценку силы удара как некоего потенциала ударной конечности оценкой того воздействия, которое испытывает мишень в результате такого удара.

Попробуем сначала рассмотреть простейший пример взаимодействия какого-то тела и некоторого препятствия. Допустим, тело массой  $m$  лежит на закрепленной полке. Тогда оно воздействует на препятствие с силой тяжести, прямо пропорциональной массе.

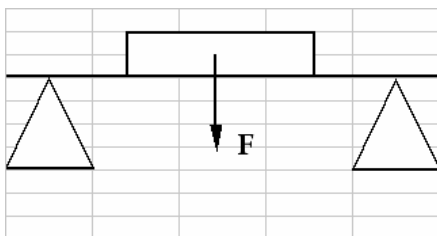


Рис. 1.

Не вдаваясь в тонкости, можно указать два результата воздействия такой силы:

- если тело не обладает достаточной массой, то сила тяжести уравновешивается силой реакции опоры, и тело остается в покое сколь угодно долго;
- если же сила тяжести превысит какое-то пороговое значение, обусловленное пределом прочности полки, то полка разрушится.

Известно, что в реальности ни один физический процесс не происходит мгновенно, и процесс разрушения полки так же имеет какую-то длительность во времени. Если бы была возможность

убрать тело с полки мгновенно после того, как препятствие начало разрушаться, то этот процесс был бы остановлен, и полка (может быть, частично) осталась бы целой. Так же понятно, что какой бы большой массой не обладало тело, оно должно воздействовать на препятствие время, достаточное для завершения процесса разрушения.

(Имеется в виду тот промежуток времени, после истечения которого процесс становится необратим.)

И какую бы природу не носили тело и препятствие, этот промежуток времени всегда существует. Таким образом, для рассмотренного примера можно сделать вывод: чтобы разрушить препятствие тело должно воздействовать на него с силой превышающей какое-то пороговое значение, обусловленное пределом прочности материала препятствия, и это воздействие должно иметь длительность во времени.

Если приблизить этот пример к более привычному для нас представлению об ударе, то надо рассмотреть воздействие горизонтальной силы на препятствие.

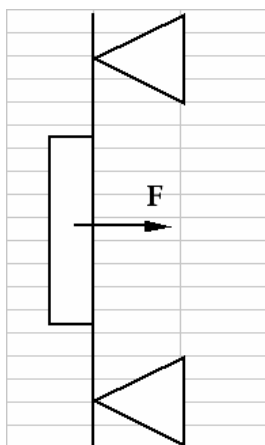


Рис. 2.

Такой случай воздействия силы на препятствие практически ничем не отличается от рассмотренного выше, и сделанный вывод остается верным и для него. Графически это можно отобразить так

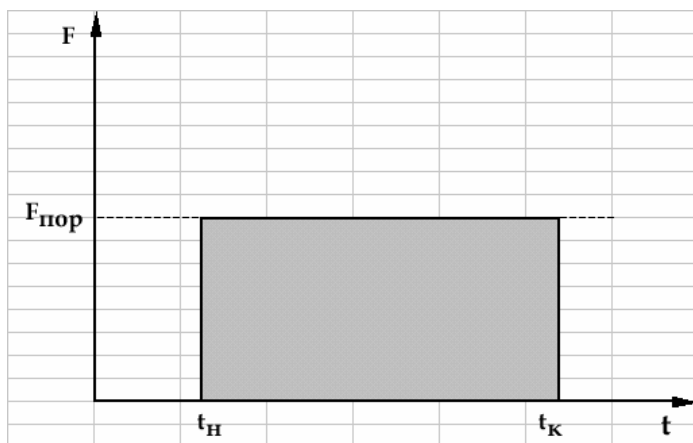


Рис. 3.

То есть в момент времени  $t_n$  на препятствие начинает действовать сила  $F_{пор}$ , превышающая предел прочности материала препятствия. В этот момент препятствие начинает разрушаться, а в момент времени  $t_k$  процесс разрушения приобретает необратимый характер. После этого воздействие силы можно прекратить. Математически это описывается с помощью следующей зависимости:

$$\Delta p = F * \Delta t \quad (3)$$

Произведение силы, действующей на тело, на время действия этой силы называется импульсом силы.

Тогда наш вывод можно сформулировать другим образом: чтобы разрушить препятствие тело должно воздействовать на него импульсом силы, превышающим какое-то пороговое значение.

Рассматривая эти примеры, мы оперируем таким понятием как разрушение просто как более наглядным представлением процесса, который мы хотим описать. В реальности результат воздействия ударной конечности на мишень не всегда представляет собой какое-либо разрушение (во всяком случае, визуально), но всегда можно соотнести количественные параметры удара с травмами той или иной степени тяжести, являющимися следствием нанесения таких ударов.

То есть эффективный удар всегда приводит к какой-то травме, а травму условно можно назвать разрушением, будь это нарушение целостности кожных покровов, разрыв кровеносных сосудов, разрушение мягких тканей или костей и так далее.

Здесь надо отметить, что термин “удар” в боевых единоборствах означает некий технический прием (совокупность действий), и это его толкование отличается от того, что применяется в физике: удар - это совокупность явлений, возникающих при столкновении движущихся тел. Но когда мы говорим о силе удара, толкования совпадают - эта та самая сила, которая возникает в результате столкновения ударной конечности и мишени.

Если соотносить приведенный пример воздействия горизонтальной силы на препятствие с ударом в боевых искусствах, то рисунок и явление, которое мы пытаемся описать, отражают определенную фазу удара - тот момент, когда ударная конечность вошла в соприкосновение с мишенью.

Если исходить из физического определения удара, то необходимо рассматривать взаимодействие движущихся тел. Движущиеся тела обладают количеством движения или импульсом тела, равным произведению массы тела на его скорость

$$p = m * v \quad (4)$$

Также такое тело обладает кинетической энергией

$$E = (m * v^2) / 2 \quad (5)$$

Как видно из соотношений (4) и (5), зависимость между импульсом тела и энергией прямо пропорциональная.

При столкновении двух тел - ударе - происходит изменение импульса обоих тел. И по определению это изменение импульса равно импульсу силы, возникающему при столкновении

$$\Delta p = m * \Delta v = F \Delta t \quad (3.1)$$

где  $F$  сила удара, а  $\Delta t$  время действия этой силы.

Важно заметить, что импульс силы равен **изменению** импульса тела, а, так как масса тела во время удара не изменяется, то импульс силы прямо пропорционален **изменению** скорости тела, а не его абсолютному значению.

Соотношения (3) и (3.1) есть ничто иное, как другое представление второго закона Ньютона, согласно которому воздействие импульса силы вызывает изменение импульса тела. Только при соударении это соотношение выполняется в другой последовательности: если изменился импульс тела, значит, на него воздействовал импульс силы.

Но связь между силой, которая привела тело в движение, и силой, которая воздействует на тела при столкновении в результате этого движения только причинно-следственная - количественную связь между ними определить невозможно.

Схематически эту связь можно отобразить так. Боец воздействует силой на ударную конечность, придавая ей какой-то импульс. Пройдя определенный путь, ударная конечность сталкивается с мишенью, в результате импульс ударной конечности изменяется. Это изменение импульса конечности приводит к возникновению импульса ударной силы.

Очевидно, что импульс ударной конечности изменяется в сторону уменьшения. Таким образом, смысл удара в боевых искусствах заключается в том, чтобы передать импульс ударной конечности (а значит, энергию ударной конечности) мишени, и чем больший импульс будет передан, тем эффективней будет воздействие на мишень.

Если в процессе удара удастся измерить изменение импульса ударной конечности и время, за которое это изменение произошло, то это позволит определить и силу собственно удара.

На самом деле в таком виде задача по-прежнему является трудноразрешимой. Однако, так как процесс удара достаточно быстротечен, то систему "ударная конечность-мишень" можно считать закрытой системой, то есть такой системой, воздействием внешних сил на которую можно пренебречь. А для закрытой системы выполняется закон сохранения импульса. То есть полный импульс этой системы до удара и после удара остается одной и той же величиной. А это означает, что изменение импульса ударной конечности равно изменению импульса мишени.

Если ударная конечность будет воздействовать на некую "калиброванную" мишень, находящуюся в покое, и будет возможно измерить импульс этой мишени, полученный в результате воздействия ударной конечности, то величину этого импульса можно будет считать численно равной импульсу силы, воздействующей на мишень.

Это именно то, к чему мы стремимся. Именно такой подход мы считаем необходимым при оценке численных параметров удара, и именно его мы использовали при разработке нашего динамометра.

В общем случае импульс ударной силы  $P$  за время удара  $\tau$  определяется как интеграл  $P = \int F * dt = F_{cp} * \tau$  и называется ударным импульсом. Его качественное графическое представление показано на рисунке 4.

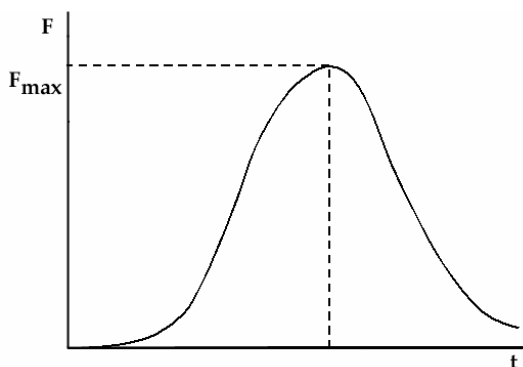


Рис. 4

Процесс соударения двух тел можно разделить на две фазы. Первая фаза начинается с момента соприкосновения точек  $A$  и  $B$  тел, имеющих в этот момент скорости сближения  $v_A - v_B$ . (Рис. 5) К концу первой фазы сближение тел прекращается, а часть их кинетической энергии переходит в потенциальную энергию деформации.

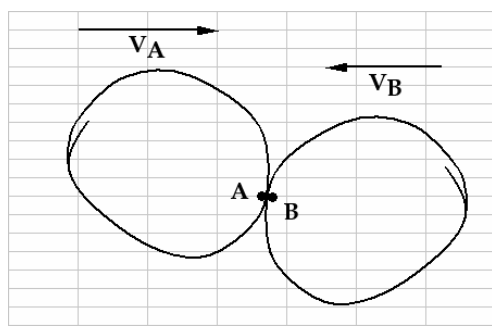


Рис. 5

Во второй фазе происходит обратный переход потенциальной энергии упругой деформации в кинетическую энергию тел. При этом тела начинают расходиться, и к концу второй фазы точки *A* и *B* будут иметь скорость расхождения  $V_A - V_B$ .

Для совершенно упругих тел механическая энергия к концу удара восстановилась бы полностью, и было бы верно равенство скоростей расхождения по модулю

$$|V_A - V_B| = |v_A - v_B|$$

Наоборот, удар совершенно неупругих тел закончился бы на первой фазе -

$$V_A - V_B = 0$$

При ударе реальных тел механическая энергия к концу удара восстанавливается лишь частично вследствие потерь на образование остаточных деформаций, нагревание тел и др. То есть

$$|V_A - V_B| < |v_A - v_B|$$

Величина этой потери определяется так называемым коэффициентом восстановления *k*, который считается зависимым только от физических свойств материалов тел и численно определяется соотношением скоростей расхождения тел после удара и до удара

$$k = -(V_A - V_B) / (v_A - v_B)$$

На практике коэффициент *k*, конечно, невозможно определять по скоростям ударной конечности до и после удара, потому что ударная конечность связана в кинематическую схему и может быть управляема бойцом в любую фазу удара, тогда как действительное значение коэффициента восстановления должно определяться при взаимодействии свободных тел.

Вообще определение параметров, описывающих ударное взаимодействие, задача достаточно сложная. Это связано не только с трудностями чисто математического характера, но и с отсутствием достаточных данных о параметрах, определяющих поведение материалов тел при ударных нагрузках, что заставляет делать при расчетах ряд существенных упрощений.

Изучение удара не вполне упругих тел требует учета как упругих, так и пластичных свойств материалов. При расчете такой задачи во многом опираются на анализ и обобщение экспериментальных результатов.

Нам представляется, что в физическом смысле удар в боевых единоборствах ничем не отличается от ударного взаимодействия любых других механических тел, и нет никакой необходимости придумывать что-то еще для его количественного описания, а достаточно воспользоваться теорией удара из элементарной физики.

Мы предлагаем исходить из того, что удар и в боевых искусствах есть ни что иное, как процесс передачи импульса и энергии одного тела другому.

Использование этих двух параметров и общепринятых соотношений позволяет уйти не только от определения силы из формулы (2), которая не является ни характеристикой самой ударной конечности, ни той силой, которая воздействует на мишень (а значит, не является и собственно силой удара), но и вообще уйти от оценки некоего потенциала ударной конечности (или самого бойца), а оценивать только последствия нанесения того или иного удара.

Кстати, такой подход в определении эффективности удара нам кажется не только более правильным, но и более легко реализуемым в техническом устройстве.

Никто не станет оспаривать того утверждения, что эффективность удара не имеет простой зависимости ни от физических кондиций бойца, ни от его технической подготовки. Конечно, имея наглядное представление об этих аспектах подготовки бойца, а также проведя оценку эффективной массы ударной конечности и ее скорости, можно представить и приблизительно

оценить возможные последствия нанесения удара таким бойцом, но получить действительную количественную оценку не удастся.

В качестве примера, подтверждающего этот тезис, можно вспомнить массу случаев, когда прекрасно физически и технически подготовленный боец не был в состоянии разбить кирпич, хотя для этого достаточно силы неподготовленного мужчины. Правда, в этих случаях проявлялся аспект, который мы здесь не рассматриваем - психологический, - но это подтверждение того, что хорошие физические кондиции и знание техники не означают эффективности удара. Точно таким же образом могут проявляться и другие факторы, которые визуально не обнаруживаемы, но реально влияют на силу удара.

Динамометр, разработанный на основании вышеизложенных принципов, позволяет уйти от учета и оценки всех этих факторов: при этом не важна траектория удара, при этом не нужно знать массу ударной конечности, не нужно измерять ее мгновенную скорость; при этом вы можете накачивать удар “психической энергией”, заряжать “энергией ки”, и тому подобное. Попросту, вложите в удар все, что можете и хотите - это не важно, прибор измерит только то, что получила мишень в результате ваших действий. И это будет количественная и объективная оценка вашего удара. Если вы проведете удар по-другому, вы получите другую оценку, и сравнение этих оценок позволит вам сравнить эффективности ударов. А задача анализа факторов, влияющих на эффективность того или иного удара, лежит на методистах и инструкторах.

Изменение импульсов тел при соударениях связано с изменением их скоростей, так как массы тел в процессе соударения не изменяются. Графически этот процесс можно отобразить следующим образом.

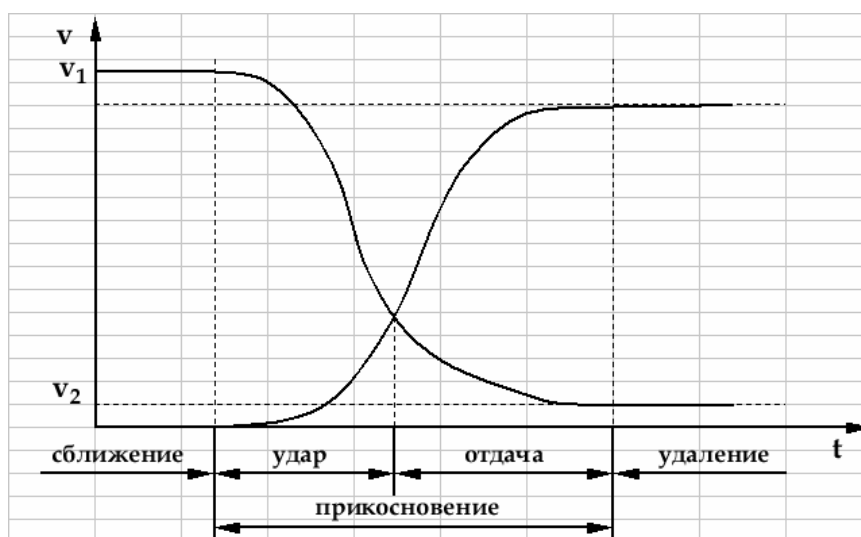


Рис. 6

Сразу после столкновения, когда взаимодействует небольшое количество материальных точек тел, скорость передачи импульса незначительна, то есть, незначительна скорость изменения скоростей тел. Затем количество взаимодействующих материальных точек увеличивается, и увеличивается величина изменения скорости. И в какой-то момент эта величина достигает максимума, то есть достигает максимума торможение/ускорение тел. Отсюда следует, что именно в этот момент времени, согласно второму закону Ньютона, достигает максимума и сила удара.

Рассчитать математически этот момент невозможно, так как в наибольшей степени характер взаимодействия тел (то есть вид кривой на рис. 6) зависит от физических свойств материалов тел. Но в таком расчете и нет необходимости.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что основной характеристикой, описывающей процесс удара, является ударный импульс. Обсчет количественных параметров ударного импульса и являлся нашей задачей при создании динамометра.



Обсчет кривой импульса ударной силы позволяет определить три основных числовых параметра удара (Рис. 4):

1. сила удара, определяемая как максимум кривой ударного импульса.
2. резкость удара, определяемая как скорость нарастания импульса силы по переднему фронту в единицах силы за единицу времени.
3. энергия удара, численно равная интегралу под кривой импульса, умноженному на какой-то числовой коэффициент.

Ударный импульс представляет собой исчерпывающую характеристику удара. Понятно, что математически описать его невозможно, но если удастся получить его представление в том или ином виде, этого будет достаточно, чтобы описать весь арсенал и весь диапазон ударов в боевых единоборствах.

И необходимо подчеркнуть, что это не какая-то производная характеристика, получаемая через оценку каких-либо косвенных параметров, таких, например, как вес бойца или траектория удара – это характеристика, непосредственно описывающая процесс взаимодействия ударной конечности и мишени.

Графическое представление импульса очень наглядно для описания того или иного вида ударов.

На практике часто оперируют такими понятиями как "сильный удар" или "резкий удар". Иногда их противопоставляют друг другу, так как нанесение резкого и одновременно сильного удара требует высокого мастерства. Встречается еще такое определение удара как "энергонасыщенный удар", то есть удар, обладающий большой энергией.

Соотношение этих категорий удара и параметров ударного импульса ясно из представленного выше.

Сложнее говорить об эффективном ударе, вернее, об его критериях. "Энергетический" подход, как наиболее общий в физике, кажется привлекательным, но, по всей видимости, при условии введения граничных условий. Если на практике считается, что эффективный удар не должен иметь длительность выше 15-18 мс (это время взаимодействия ударной конечности и мишени), то это означает, что вся энергия ударной конечности должна быть передана мишени именно за этот промежуток времени. С одной стороны, это требует высокой скорости передачи энергии, с другой стороны, может означать, что энергия конечности была невысока.

Точно так же, сами по себе сила удара или резкость удара не будут ничего значить, если только вам не нужна победа по очкам. Такие удары могут не обладать достаточной энергией, то есть они не будут носить "разрушительного" характера и не будут способны нанести травму противнику.

Вместе с тем, сильный удар должен быть достаточно резким, то есть иметь большую скорость нарастания силы, чтобы достичь максимума за время удара (те же 15-18 мс). Если же время взаимодействия ударной конечности мишени будет недостаточным для передачи необходимого количества энергии, то и такой удар не будет эффективным.

Таким образом, можно сделать вывод, что резкие и сильные удары могут быть эффективными, если при этом мишени было передано достаточное количество энергии.

Для энергетически насыщенных ударов необходимо ввести нижнюю границу времени взаимодействия ударной конечности и мишени, ниже которой переданной энергии будет недостаточно для разрушения препятствия.

На практике время эффективного удара в 15-18 мс, возможно, вводится для так называемого неуправляемого удара. То есть такого удара, когда в момент соприкосновения с мишенью (или раньше) боец перестает прикладывать усилие к ударной конечности. В таком случае сила удара зависит только от скорости ударной конечности в момент столкновения, а резкость - определяется физическими свойствами материалов конечности и мишени.

На практике удар считают резким в том случае, когда мало время набора ударной конечностью максимально возможной скорости. Хотя это точно такая же характеристика удара, как сила, приложенная бойцом к ударной конечности.

На самом деле резкость удара зависит даже не от набранной ударной конечностью скорости, а от скорости изменения скорости ударной конечности после соприкосновения с мишенью. Резкий удар - это короткий удар: сила удара быстро нарастает, быстро достигает максимума. После максимума может быть, конечно, только спад импульса силы, и удар также быстро заканчивается.

Правда, при этом численно изменение скорости будет больше для большей скорости. И для неуправляемого удара это, опять же, зависит от свойств материалов конечности и мишени. То есть вид кривой ударного импульса в наибольшей степени находится в зависимости от того, чем бить и по чему бить - непрофессиональный удар молотком по голове часто эффективней высококлассного удара боксерской перчаткой.

По всей видимости, по максимуму резкость удара (как скорость нарастания силы удара) ограничена свойствами материалов взаимодействующих тел. Для свободных (не связанных в кинематическую схему) тел это безусловно так, и время взаимодействия таких тел определяется тем, насколько их свойства отличаются от свойств абсолютно упругих (или неупругих) тел.

Для ударной конечности и мишени, связанных в кинематическую схему, это зависит от многих других факторов, и, надо полагать, что любой самый резкий удар на практике не достигает того максимума, который определяется только свойствами взаимодействующих тел. Значит, техника удара должна быть поставлена таким образом, чтобы исключить влияние всех прочих факторов, накладывающих ограничение на резкость удара.

Если исходить из принятых представлений об ударе в боевых искусствах, то, безусловно, требуется введение ограничений сверху на время взаимодействия ударной конечности с мишенью, потому что согласно формуле (2) сила удара обратно пропорциональна этой величине. Тогда удар, определяемый нами как энергонасыщенный, безусловно, должен достигать большой силы: кривая импульса должна иметь большой по величине максимум, чтобы площадь под кривой получилась достаточно большой. Это значит, что в описании эффективных ударов сила удара и энергия удара должны подменять друг друга. И нанесение заведомо сильных ударов в таком случае является единственно верным способом вывести противника из строя.

По нашим же представлениям это может быть верным только для тех же самых "неуправляемых ударов", которыми не ограничивается арсенал подготовленного бойца. И понятие энергии удара также необходимо, как и два других параметра - ведь не зря же существует введенный не нами термин "энергонасыщенный удар".

Поясним это графически. Как мы определяли выше для некой абстрактной модели, для разрушения препятствия величина воздействующей силы должна превышать какое-то пороговое значение, и это воздействие должно иметь какую-то длительность.

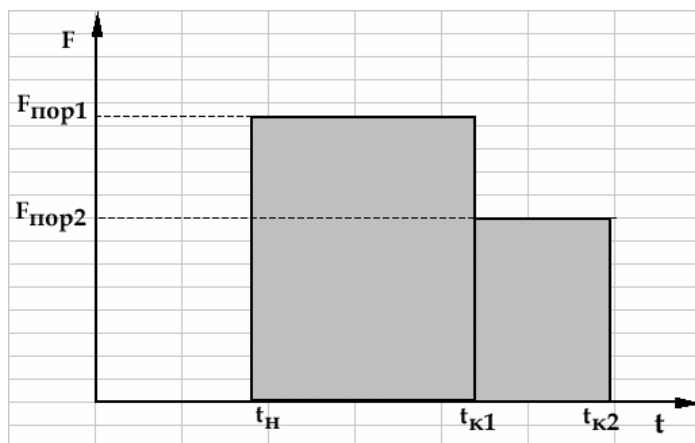


Рис. 7

Для силы, равной  $F_{пор}$ , длительность воздействия должна быть равна  $t_{пор} = t_k - t_n$ . При превышении порогового значения силы необходимое время воздействия уменьшается, то есть, чем большая сила воздействует на препятствие, тем меньшее время требуется для его разрушения.

При наложении импульсов реальных ударов на этот "эталонный" импульс могут получаться различные варианты. Например, такие

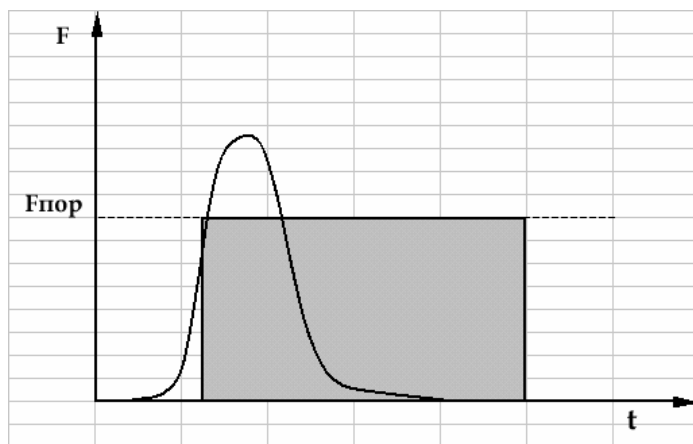


Рис. 8а

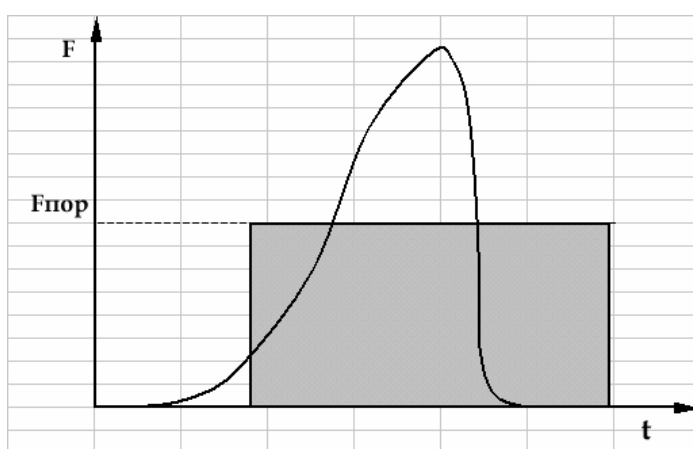


Рис. 8б

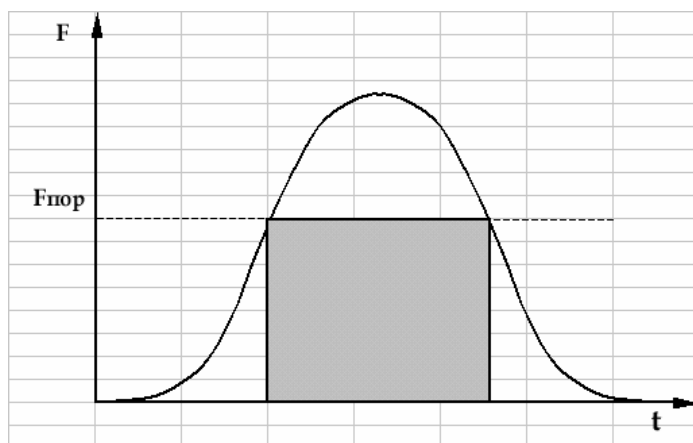


Рис. 8в

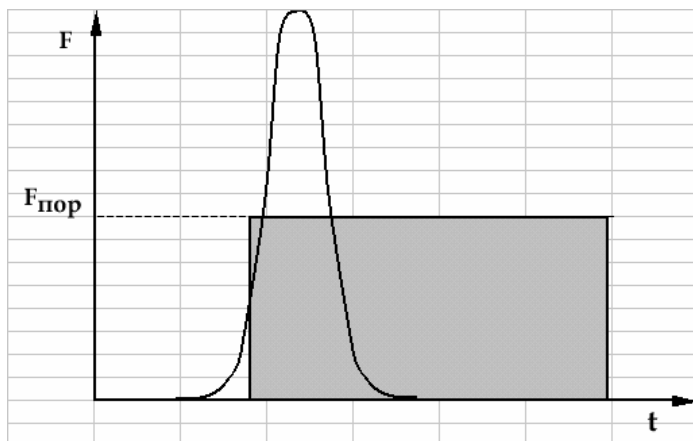


Рис. 8г

Нет особой необходимости соотносить эти варианты с реальностью, но они вполне представимы:

- рисунок а): резкий слабый удар, препятствие не будет разрушено - такой удар может нанести боец легкого веса, у которого масса ударной конечности не велика;
- рисунок б): сильный, но не законченный удар, препятствие не будет разрушено - такой удар мог получиться в случае, если противник, например, ушел из-под удара;
- рисунок в): эффективный удар, препятствие будет разрушено - ему будет передано достаточный импульс силы (а значит - энергии);
- рисунок г): резкий сильный удар, но явно недостаточный, чтобы разрушить препятствие - такой вид импульса мог иметь, наверное, удар молотка по листу фанеры.

Надо заметить, что эффективный удар - это скорее не абсолютная категория, а тактическое понятие. В каждом конкретном случае эффективным ударом, выводящим противника из строя, может оказаться отнюдь не самый сильный и резкий удар. И когда мы говорим, что эффективный удар - это разрушительный удар, имеется в виду его разрушительный характер в отношении какой-то конкретной мишени.

На практике в подавляющем большинстве случаев и специалисты, и неспециалисты оценивают удар все-таки по факту нанесения. Если в результате этого удара противник был выведен из строя, значит, проведенный удар был эффективным. Даже, скорее всего, этот удар назовут просто сильным, а насколько он был действительно силен так и останется неизвестным.

И с нашей точки зрения сила этого удара не имеет значения - проведенное действие привело к нужному результату, а больше ничего и не надо.

Но хотелось, чтобы подобное утверждение не приводило к недоразумению. Да, победы совсем не обязательно добиваться сильными ударами, победы нужно добиваться эффективными ударами - эффективными для каждой конкретной цели.

Нам доподлинно не известно, но мы допускаем, что на теле человека существуют некие таинственные точки, прикосновение к которым даже кончиками пальцев выводит человека из строя. Но мы надеемся, что знания об этих точках настолько ограничены, что в большинстве случаев для победы все-таки необходимы сильные энергичные удары.

То есть основной целью тренировок бойца является достижение умения наносить точные, сильные и энергичные удары. Из каких навыков состоит это умение нам не важно, важно то, что для оценки этого умения необходимо определять силу удара, резкость удара и энергию удара.

Для некоторых может оказаться неожиданным пример на рисунке 8г), когда заведомо сильный и резкий удар не может считаться эффективным, потому что он не приводит к нужному результату.

Хотя, конечно, человек - это единое целое, и любой пропущенный сильный удар, хотя может и не привести к травме непосредственно в месте его попадания, но может вызвать различные вторичные явления (например, сотрясение мозга при сильном ударе в корпус).

Для любой конкретной мишени можно определить условия, при которых удар, имеющий критерии резкого и сильного удара, не будет эффективным. В таких случаях можно пойти по простому пути увеличения силы удара, но часто это не возможно физически.

Если использовать наш обычный утилитарный подход, то можно сказать, что в случае примера 8г) для разрушения препятствия необходимо просто увеличить количество энергии, переданной препятствию. То есть, оставив все параметры удара неизменными, надо увеличить время воздействия на препятствие. Это должно выглядеть примерно так

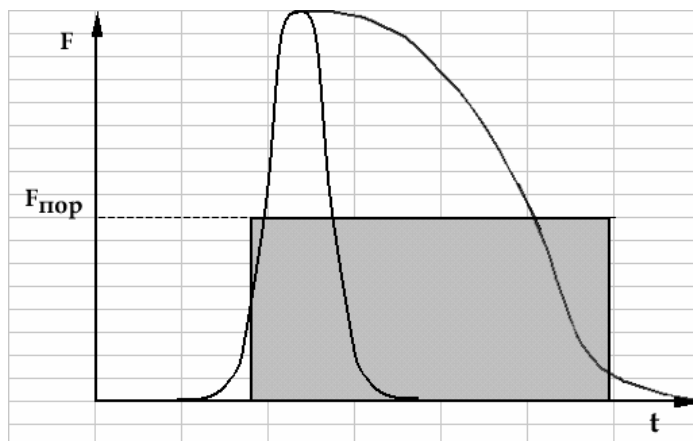


Рис. 9

Понятно, что в случае неуправляемого удара это невозможно - время воздействия ограничивается свойствами материалов взаимодействующих тел. Нам нужно, если так можно выразиться, принудительно "подпитывать" удар энергией. Как это сделать в случае молотка и листа фанеры - неизвестно. Да, этого и не нужно знать.

Если в отношении неких абстрактных молотка и фанеры любая "подпитывающая" сила выступает как внешняя сила, которой не откуда взяться, то в случае нанесения бойцом удара по реальной мишени источник "подпитывающей" энергии и механизм ее передачи ясен. Известно, что в боксе при нанесении сильных ударов спортсмен стремится попасть в точку, которая отстоит на несколько сантиметров за реальной мишенью. Это можно представить так, что спортсмен стремится к тому, чтобы ударная конечность набрала максимальную скорость в той точке, которая находится уже за мишенью, то есть он должен продолжать прикладывать силу к конечности уже после того, как она вошла в соприкосновение с мишенью. Это приводит к увеличению времени взаимодействия ударной конечности и мишени, а значит, к увеличению количества переданной энергии, как на рис. 9.

Если же рассматривать наиболее энергонасыщенные удары в боевых единоборствах, то техника проведения этих ударов такова, что в нем участвует несколько кинематических звеньев, подключаемых последовательно друг за другом.

Так при проведении удара рукой, после того как отработало звено "плечо - предплечье - кисть", и кисть начала передавать свой импульс мишени, боец подключает сначала корпус, добавляя удару энергии, а затем "включает" ноги - таким образом к импульсу первого звена добавляется импульсы второго и третьего.

Графически это будет выглядеть примерно так

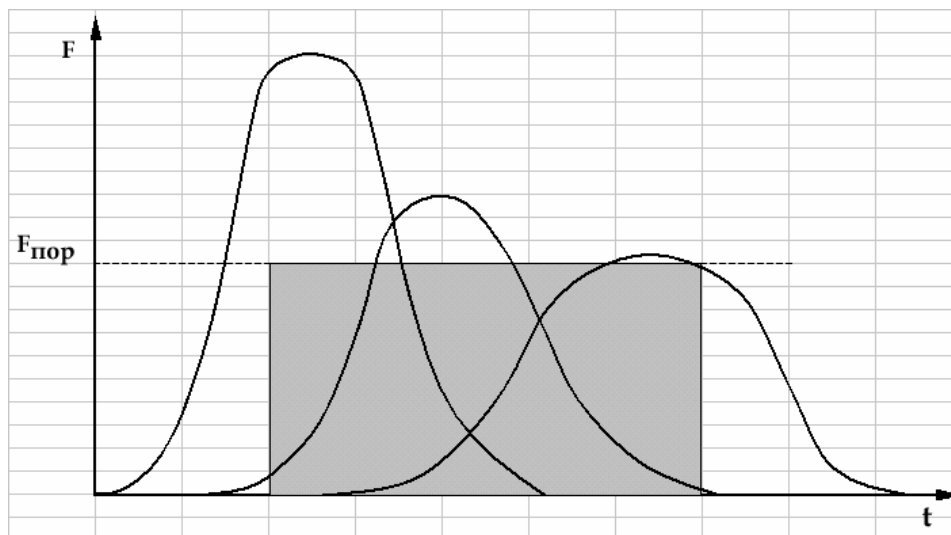


Рис. 10

Таким образом, в конечном счете, ударный импульс представляет собой суперпозицию импульсов, передаваемых каждым кинематическим звеном. И для оценки эффективности такого удара без понятия энергии не обойтись.

Очевидно, что использование такой техники удара приводит к резкому увеличению времени взаимодействия ударной конечности и мишени, а значит, по традиционным представлениям, и к уменьшению эффективности удара.

Из наших же рассуждений следует, что именно такие удары могут быть наиболее эффективны, потому что обладают большой энергией. Должно ли при этом время взаимодействия укладываться в граничное значение в 30 мс, которое введено для разделения удара и толчка, еще не понятно. Но если исходить из определения удара, его феномен как раз и состоит в том, что обмен энергиями взаимодействующих тел происходит за короткое время. Но это отнюдь не означает, что целью бойца должно быть стремление свести время взаимодействия ударной конечности с мишенью к как можно меньшей величине - смысл удара состоит в том, чтобы передать мишени как можно большее количество энергии, а время взаимодействия с мишенью при этом параметр вторичный.

С другой стороны понятно, что при какой угодно величине воздействия за достаточно продолжительный промежуток времени на мишень всегда можно передать необходимое количество энергии, но если время передачи велико, то эта энергия без последствий поглощается мишенью. То есть, при эффективном ударе сила воздействия должна всегда превышать пороговое значение.

Чтобы не отступать от традиционных представлений об ударе, можно для каждой мишени определить пороговую силу воздействия  $F_{пор}$ , такой величины, при которой пороговое время воздействия  $t_{пор}$  (рис. 5) было бы меньше 30 мс.

При этом очевидно, что теоретически не имеет значения величина превышения порогового значения силы - удар все равно будет эффективным. На практике время взаимодействия с мишенью в таком случае будет определяться уже не требованиями эффективности, а другими (может быть, тактическими) соображениями.

С точки же значения энергозатрат это превышение должно быть минимальным, так как ресурсы бойца в любом случае не безграничны. Это означает, что не стоит «стрелять из пушки по воробьям». Как это определяется на практике, трудно сказать, но то, что подготовленный боец должен рационально тратить свои силы, это очевидно.

Это очевидно любому разумному человеку, но на практике, наверное, только единицы могут определить (и то приблизительно) насколько отличается по энергозатратам тот или иной удар. И насколько отличаются энергия, которую затратил боец на проведение того или иного удара, и энергия, которую при этом получила мишень. А это очень важная задача, и ее не решить без определения энергии удара.