

## Тема 9 Ударные действия

### Основы теории удара

*Ударом* в механике называется кратковременное взаимодействие тел, в результате которого резко изменяются их скорости. При таких взаимодействиях возникают столь большие силы, что действием всех остальных можно пренебречь.

Примерами ударов являются:

- удары по мячу, шайбе (рис.1). В данном случае происходит быстрое, изменение скорости по величине и направлению. Подобные удары с последующим отскоком часто встречаются в перемещающих спортивных движениях;
- приземление после прыжков и соскоков (скорость тела спортсмена резко снижается до нуля). Особенно целесообразно рассматривать приземление как удар, если оно происходит на выпрямленные ноги или связано с падением;
- вылет стрелы из лука, акробата в цирке с подкидной доски и т.п. Здесь скорость до начала взаимодействия равна нулю, а затем резко возрастает.

Изменение ударных сил во времени происходит примерно так. Сначала сила быстро возрастает до наибольшего значения, а затем падает до нуля. Максимальное ее значение может быть очень большим. Однако основной мерой ударного взаимодействия является не сила, а *ударный импульс*, численно равный заштрихованной площади под кривой  $F(t)$  – рис.4.

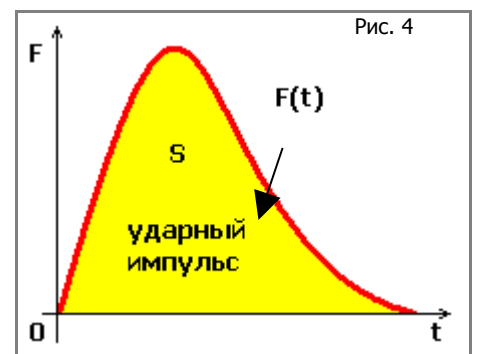
Он может быть вычислен как интеграл:

$$S = \int_{t_1}^{t_2} F(t) dt$$

где  $S$  – ударный импульс,  $t_1$  и  $t_2$  – время начала и конца удара,  $F(t)$  – зависимость ударной силы  $F$  от времени  $t$ .

За время удара скорость тела, например, мяча, изменяется на определенную величину. Это изменение прямо пропорционально ударному импульсу и обратно пропорционально массе тела. Другими словами, ударный импульс равен изменению количества движения тела:  $S \sim \Delta(mv)$ .

Последовательность механических явлений при ударе такова: сначала происходит деформация тел, при этом кинетическая энергия движения переходит в потенциальную энергию упругой деформации, затем потенциальная энергия переходит в кинетическую. В зависимости от того, какая часть потенциальной энергии переходит в кинетическую, а какая рассеивается в виде тепла, различают *три вида удара*:



1. *Вполне упругий удар* – вся механическая энергия сохраняется. Таких ударов в природе нет (всегда часть механической энергии при ударе переходит в тепло). Однако в некоторых случаях удары, например удар бильярдных шаров (рис. 5), близки к вполне упругому удару.

2. *Неупругий удар* – энергия деформации полностью переходит в тепло. Пример: приземление в прыжках и соскоках (рис. 6), удар шарика из пластилина в стену и т. п. При неупругом ударе скорости взаимодействующих тел после удара равны (тела объединяются).

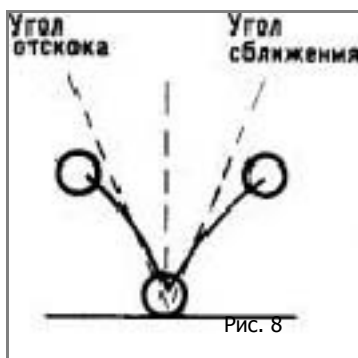
3. *Не вполне упругий удар* — лишь часть энергии упругой деформации переходит в кинетическую энергию движения (рис.1, рис.7).

Ньютон предложил характеризовать не вполне упругий удар так называемым *коэффициентом восстановления*. Он равен отношению скоростей взаимодействующих тел после и до удара. Коэффициент восстановления можно измерить так: сбросить мяч на жесткую горизонтальную поверхность, измерить высоту падения мяча ( $h_n$ ) и высоту, на которую он отскакивает ( $h_o$ ). Коэффициент восстановления равен:

$$K = \sqrt{\frac{h_o}{h_n}} = \frac{v_{\text{послеудара}}}{v_{\text{доудара}}}$$

Коэффициент восстановления зависит от упругих свойств соударяемых тел. Например, он будет различен при ударе теннисного мяча о разные грунты и ракетки разных типов и качества. Зависит коэффициент восстановления и от скорости ударного взаимодействия: с увеличением скорости он уменьшается. Например, по международным стандартам теннисный мяч, сброшенный на твердую поверхность с высоты 2 м 54 см (100 дюймов), должен отскакивать на высоту 1,35-1,47 м (коэффициент восстановления 0,73-0,76). Однако, если его сбросить, скажем, с высоты в 20 раз большей, то даже без сопротивления воздуха отскок возрастет, но гораздо меньше, чем в 20 раз.

В зависимости от направления движения мяча до удара различают *прямой* и *косой* удары; в зависимости от направления ударного импульса - *центральный* и *касательный* удары.



При прямом ударе направление полета мяча до удара перпендикулярно к плоскости ударяющего тела или преграды. Пример: падение мяча сверху на горизонтальную поверхность. В этом случае мяч после отскока летит в обратном направлении.

При косом ударе угол сближения (рис. 8) отличен от нуля. При идеальном упругом ударе углы сближения и отскока равны. При реальных (не вполне упругих) ударах угол отскока больше угла сближения, а скорость после отскока от неподвижной преграды меньше, чем до удара.

Центральный удар характеризуется тем, что ударный импульс проходит через ЦМ мяча. В этом случае мяч летит не вращаясь. При касательном ударе ударный импульс не проходит через ЦМ мяча – мяч после такого удара летит с вращением. Как уже отмечалось, вращение мяча изменяет траекторию его полета. Изменяет оно также отскок мяча. Например, в настольном теннисе поступательная скорость крученого мяча (шарика) после отскока нередко выше, чем до соприкосновения со столом: часть кинетической энергии вращения переходит в энергию поступательного движения.

При центральном ударе двух упругих тел (например, двух бильярдных шаров) количество движения в системе этих тел остается постоянным:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 u_1 + m_2 u_2 = const ,$$



Рис. 6



Рис. 7

где  $m_1$  и  $m_2$  – массы первого и второго тела,  $v_1$  и  $v_2$  – их скорости до удара; и  $u_1$  и  $u_2$  – их скорости после удара.

Если скорость одного из тел до удара равна нулю, то после удара она станет:

$$u_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1$$

Из формулы видно, что скорость после удара будет тем больше, чем больше скорость и масса ударяющего тела (ударная масса). В более сложных случаях (нецентральный и не вполне упругий удар) картина сложнее, однако и в них скорость после удара будет тем выше, чем больше ударная масса и скорость тела, наносящего удар.

### Биомеханика ударных действий

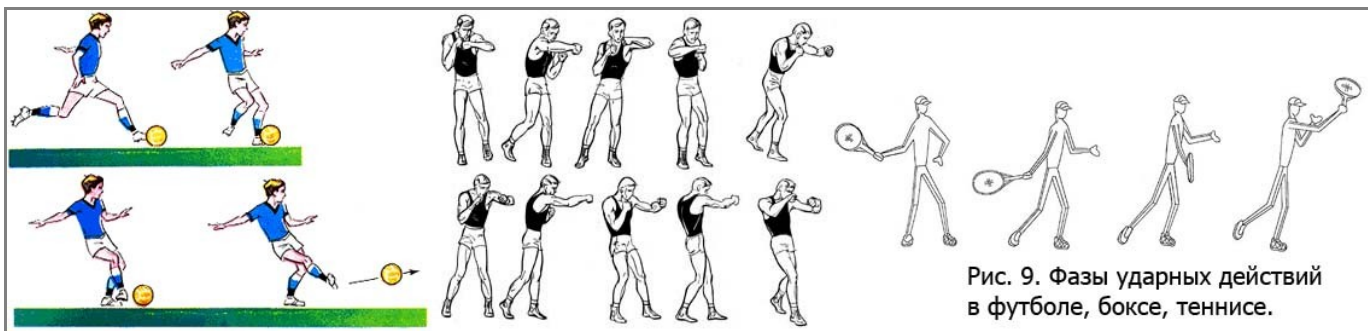
Ударными в биомеханике называются действия, результат которых достигается механическим ударом. В ударных действиях различают (рис. 9):

1. Замах – движение, предшествующее ударному движению и приводящее к увеличению расстояния между ударным звеном тела и предметом, по которому наносится удар. Эта фаза наиболее вариативна.

2. Ударное движение – от конца замаха до начала удара.

3. Ударное взаимодействие (или собственно удар) – столкновение ударяющихся тел.

4. Послеударное движение – движение ударного звена тела после прекращения контакта с предметом, по которому наносится удар.



Уже говорилось, что при механическом ударе скорость тела (например, мяча) после удара тем выше, чем больше скорость ударяющего звена непосредственно перед ударом. При ударах в спорте такая зависимость необязательна. Например, при подаче в теннисе (рис. 10) увеличение скорости движения ракетки может привести к снижению скорости



вылета мяча, так как ударная масса при ударах, выполняемых спортсменом, непостоянна: она зависит от координации его движений. Если, например, выполнять удар за счет сгибания кисти или с расслабленной кистью, то с мячом будет взаимодействовать только масса ракетки и кисти. Если же в момент удара ударяющее звено закреплено активностью мышц-антагонистов и представляет собой как бы единое твердое тело, то в ударном взаимодействии будет принимать участие масса всего этого звена.

Иногда спортсмен наносит два удара с одной и той же скоростью, а скорость вылета мяча или сила удара оказывается различной. Это происходит из-за того, что ударная масса неодинакова. Величина ударной массы может использоваться как критерий эффективности техники ударов. Поскольку рассчитать ударную массу довольно сложно, ее оценивают так:

скорость мяча после удара

Эффективность ударного взаимодействия =  $\frac{\text{скорость мяча после удара}}{\text{скорость ударяющего сегмента до удара}}$ .

Этот показатель различен в ударах разных типов. Например, в футболе он изменяется от 1,20 до 1,65. Зависит, он и от веса спортсмена.

Некоторые спортсмены, владеющие очень сильным ударом (в боксе, волейболе, футболе и др.), большой мышечной силой не отличаются. Но они умеют сообщать большую скорость ударяющему сегменту и в момент удара взаимодействовать с ударяемым телом большой ударной массой (рис. 11).

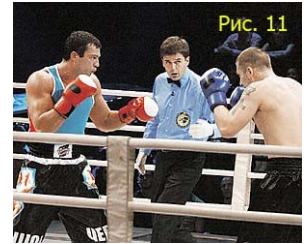


Рис. 11

Многие ударные спортивные действия нельзя рассматривать как «чистый» удар, основа теории которого изложена выше. В

теории удара в механике предполагается, что удар происходит настолько быстро и ударные силы настолько велики, что всеми остальными силами можно пренебречь. Во многих ударных действиях в спорте эти допущения не оправданы. Время удара в них хотя и мало, но все-таки пренебрегать им нельзя; путь ударного взаимодействия, по которому во время удара движутся вместе соударяющиеся тела, может достигать 20-30 см.

Поэтому в спортивных ударных действиях, в принципе, можно изменить количество движения во время соударения и за счет действия сил, не связанных с самим ударом.



Рис. 12

Это легко объяснить на таком примере. Представим, что автомобиль, едущий со скоростью 30 км/час, ударяется о препятствие (рис. 12). При этом возможны три ситуации:

1. Автомобиль едет с неработающим двигателем и невключенными тормозами. В системе «автомобиль – препятствие» действуют только ударные силы.

2. Двигатель включен, более того – автомобиль движется ускоренно. Тогда в конце удара его скорость будет больше, чем в начале, количество движения (импульс) системы возрастет, а на ударяемое тело подействует еще дополнительная сила, вызванная действием двигателя автомобиля.

3. Двигатель выключен, а тормозная система включена. Скорость и количество движения автомобиля уменьшатся из-за включенных тормозов.

Описанное можно сравнить с действием мышц человека при ударах. Если ударное звено во время удара дополнительно ускоряется за счет активности мышц, ударный импульс и соответственно скорость вылета снаряда увеличиваются; если оно произвольно тормозится, ударный импульс и скорость вылета уменьшаются (это бывает нужно при точных укороченных ударах, например при передачах мяча партнеру). Некоторые ударные движения, в которых дополнительный прирост количества движения во время соударения очень велик, вообще являются чем-то средним между метаниями и ударами (так иногда выполняют вторую передачу в волейболе).

Координация движений при максимально сильных ударах подчиняется двум требованиям:

1) сообщение наибольшей скорости ударяющему звену к моменту соприкосновения с ударяемым телом. В этой фазе движения используются те же способы увеличения скорости, что и в других перемещающих действиях;

2) увеличение ударной массы в момент удара. Это достигается «закреплением» отдельных звеньев ударяющего сегмента путем одновременного включения мышц-антагонистов и увеличения радиуса вращения. Например, в боксе и карате сила удара правой рукой увеличивается примерно вдвое, если ось вращения проходит вблизи левого плечевого сустава, по сравнению с ударами, при которых ось вращения совпадает с центральной продольной осью тела.

Время удара настолько кратковременно, что исправить допущенные ошибки уже невозможно. Поэтому точность удара в решающей мере обеспечивается правильными

действиями при замахе и ударном движении. Например, в футболе место постановки опорной ноги определяет у начинающих целевую точность примерно на 60-80%.

Тактика спортивных игр нередко требует неожиданных для противника ударов («скрытых»). Это достигается выполнением ударов без подготовки (иногда даже без замаха), после обманных движений (финтов) и т. п. Биомеханические характеристики ударов при этом меняются, так как они выполняются в таких случаях обычно за счет действия лишь дистальных сегментов (кистевые удары).

Вопросы:

1. Что в механике называют ударом?
2. Приведите примеры различных ударов в спорте.
3. Как происходит изменение ударных сил с течением времени?
4. Что является основной мерой ударного взаимодействия?
5. Чему равен ударный импульс?
6. Какова последовательность механических явлений при ударе?
7. Что представляет собой вполне упругий удар? Примеры.
8. Что представляет собой неупругий удар? Примеры.
9. Что представляет собой не вполне упругий удар? Примеры.
10. Какой величиной характеризуется не вполне упругий удар?
11. Как можно измерить коэффициент восстановления?
12. От каких физических параметров зависит коэффициент восстановления?
13. Охарактеризуйте прямой удар.
14. Охарактеризуйте косой удар.
15. Охарактеризуйте центральный удар.
16. Охарактеризуйте касательный удар.
17. От чего и как зависит скорость тела после удара?
18. Какие действия в биомеханике называют ударными?
19. Перечислите фазы ударных действий.
20. Как связана скорость, например, мяча и ударная масса?
21. Может ли быть сильный удар при небольшой мышечной силе? Почему?
22. Почему во многих ударных действиях в спорте нельзя пренебрегать остальными силами по сравнению с ударными?
23. Каким требованиям подчиняется координация движений при максимально сильных ударах?
24. Чем обеспечивается точность удара?
25. В чем состоит особенность ударов без подготовки?