

МАТЕМАТИКА И ФИЗИКА В ФУТБОЛЕ

Кочнев Д.О.

МБОУ «Никифоровская СОШ №2», 9 класс

Научный руководитель: Козлова Е.В., МБОУ «Никифоровская СОШ №2»

Данная статья является реферативным изложением основной работы. Полный текст научной работы, приложения, иллюстрации и иные дополнительные материалы доступны на сайте III Международного конкурса научно-исследовательских и творческих работ учащихся «Старт в науке» по ссылке: <https://www.school-science.ru/0317/7/27945>.

Математические и физические методы все шире используются в спорте. Остается актуальной проблема выстраивания правильной тактики в футболе при ведении мяча. На движение мяча в среде влияют эффект Магнуса, сопротивление среды, скорость, сила ветра, способная изменить направление движения мяча.

История отечественного футбола имеет богатые традиции. Однако, на протяжении всей истории футбола, российские спортсмены всего лишь трижды добивались высоких результатов, в отличие от других стран. Это и удивляет, ведь наша страна полна талантов. В последние годы футболу в России стали больше уделять внимания, но улучшения положения нет.

Проблема исследования заключается в том, что многие вопросы подготовки футболистов и тактики игры к настоящему времени так до конца и не изучены. Снижение показателей в данном виде спорта свидетельствует о необходимости поиска эффективных методик и нахождения точек взаимодействия с наукой. Эти и другие причины послужили источником выбора данной темы.

Актуальность исследования – в востребованности изучения и решении данной проблемы в обществе, недостаточном использовании тренерским составом математических и физических исследований.

Объект исследования: футбол.

Предмет исследования: связь футбола, математики и физики.

Цель: выяснить как взаимосвязаны математика, физика и футбол. Найти их точки соприкосновения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: изучить литературу по данному вопросу; систематизировать и обобщить знания о взаимосвязи математики и футбола; привести примеры применения математики и физики в футболе; показать значимость и актуальность этой взаимосвязи на данном этапе развития нашего

общества. Для решения проблемы гипотезой исследования стало следующее предположение: результативность игры в футбол будет выше у той команды, игроки которой отображены в соответствии с научно-обоснованными критериями.

В работе использовались следующие методы исследования: изучение литературы; наблюдение; анализ и синтез; тестирование; обобщение собранного материала; защита исследовательской работы.

В данной работе рассмотрена краткая история футбола, теоретические вопросы физики и биофизики в технике футбольного игрока и вратаря, вопросы применения и математических знаний: от модели мяча до расстановки игроков на поле, экспериментальная часть. Практическая значимость исследования в том, что исследования могут быть взяты за основу элективного курса в школе, а также как методические рекомендации для тренера.

Математика и футбол

Математика в футболе

Футбол – самая популярная спортивная игра в мире. Математика имеет самое непосредственное отношение к этому виду спорта. Взять даже самые азы математики – счет. Не умей считать, человек не смог бы подсчитать голы команд, а без этого футбола быть не может.

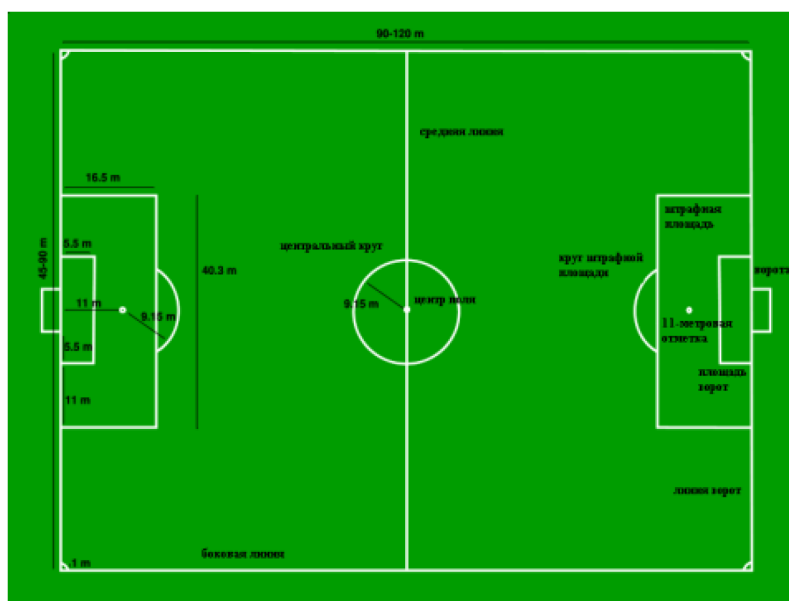
Математика присутствует в самых различных компонентах этой интереснейшей игры – начиная от конструкции футбольного мяча, и заканчивая спортивными рейтингами [3]. Ширина ворот (находящихся посередине лицевой линии) равна 7,32 м, а высота – 2,44 м (отношение 3/1). Сетка ворот различается формой ячеек, они могут быть в форме квадрата, шестигранника и ромба. Ширина линии ворот равна диаметру стоек и перекладины. Ворота условно делятся на девять квадратов: три ряда по три квадрата. Каждому квадрату присваивается номер от 1 до 9. Счёт начинается с нижнего ряда, так что над первым квадратом располагается четвёртый, над четвёртым – седьмой, и т.д.

Поле делится на две абсолютно симметричные части. Центральный круг имеет радиус 9,15 м. Такой же радиус имеет полукруг штрафной площади с центром в 11-метровой точке. Ширину штрафной площади

можно разделить на три равные 5,5 м отрезка, концами которых будут линия вратарской, конец вратарской площадки, 11-метровая точка и конец штрафной площадки.

При подготовке команд и их тренеров к серьезной схватке с соперниками все математические методы работают как никогда, например, определение оптимального состава на игру в футбольном матче, оптимальной расстановки игроков на футбольном поле. На более низком уровне подготовки (региональные, районные сборные) к сожалению, математические методы в подготовке спортсменов применяются не в полной мере.

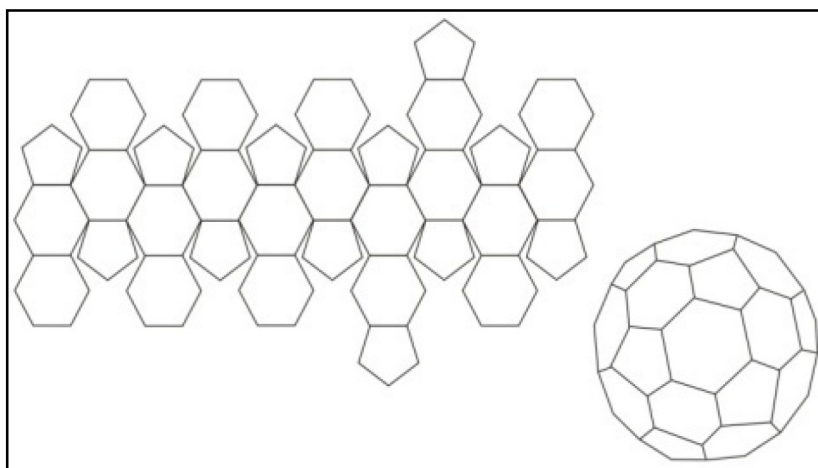
в 1970 году, можно достаточно долго и увлекательно модифицировать. Футбольный мяч соответствует требованиям, опирающимся на теорию графов: его поверхность состоит исключительно из правильных пятиугольников и шестиугольников; пятиугольники своими сторонами касаются только шестиугольников; стороны шестиугольников могут касаться сторон как пяти, так и шестиугольников. Согласно довольно строгим правилам, покрышка обыкновенного спортивного мяча состоит из 32 кусочков в форме правильных выпуклых фигур: 12 пятиугольников и 20 шестиугольников, расположенных рядом друг с другом так, что они образуют



Футбольный мяч – геометрическое тело

Без мяча футбол не возможен. Оказывается, обычные мячи, которые появились на соревнованиях за кубок FIFA ещё

вают закрытую пространственную фигуру, которая напоминает сферу. Геометрическая фигура футбольного мяча получила имя – усечённый икосаэдр.



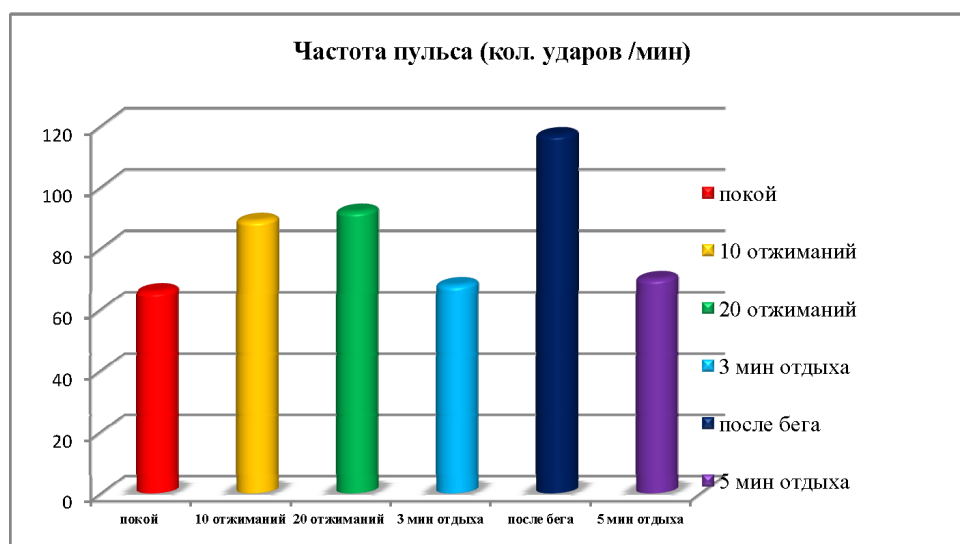
Для футбольного мяча можно использовать и другие фигуры кроме 5-угольников и 6-угольников. Официальный футбольный мяч Кубка мира-2006 сделан всего из 14 изогнутых кусочков.

Применение математических знаний и навыков при занятии спортом

Чтобы показать, как математические умения применяются при занятии футболом, рассмотрим следующие примеры. На диаграмме показано изменение моего пульса на одном из уроков физической культуры. Незначительные изменения в результатах измерения во время покоя и физической нагрузки характерны для здорового человека, а также являются результатом регулярных тренировок.

ров расценивается как удовлетворительная реакция, свыше 20 – неудовлетворительная. Диаграмма свидетельствует о хорошей тренированности членов футбольной команды «Прорыв» МБОУ «Никифоровская СОШ №2». Клиностагическая проба выполняется в обратном порядке. В норме пульс уменьшается на 4–10 уд./мин. Знание резервных возможностей своего сердца позволяет сделать безопасными и эффективными используемые нагрузки.

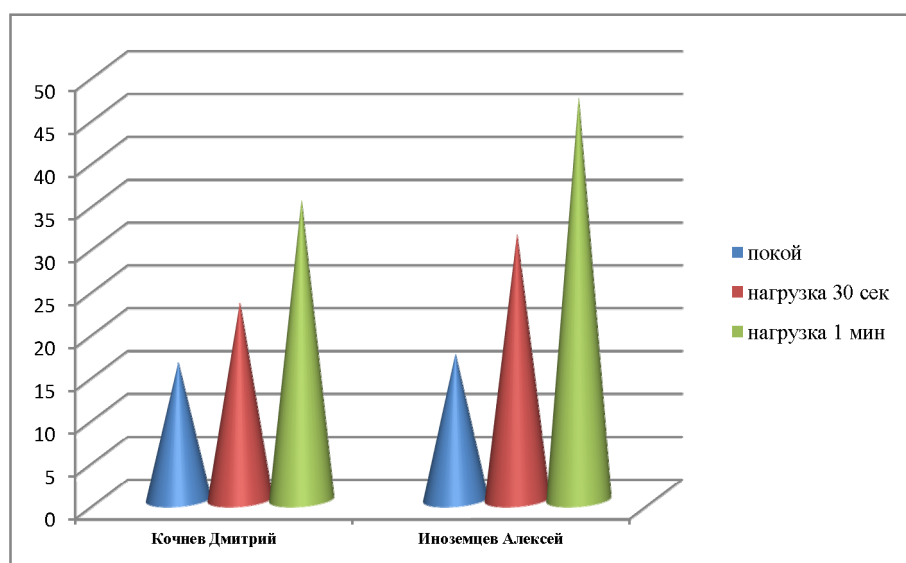
2. Измерение дыхания. В результате эксперимента я наблюдал, как изменяется частота дыхания у учащегося, активно занимающегося спортом и пассивного учащегося. Показания ортостатического теста у меня (Кочнев Д.) в норме, что свидетельствует о хорошей тренированности. У нетрени-



1. Измерение пульса. Есть два способа измерения пульса: клиностагический (измерение стоя) и ортостатический (измерение лежа) [13]. Ортостатическая проба: в положении лежа подсчитывается пульс за 10 с и умножается на 6. Затем нужно спокойно встать и подсчитать пульс в положении стоя. В норме превышение его не составляет 10–14 уд./мин. Учащение до 20 уда-

рованного учащегося (Иноземцев А.), восстановление дыхания до нормы происходит медленнее. Эти данные говорят о плохой тренированности организма, Иноземцеву А. следует больше времени уделять физическим упражнениям и здоровому питанию.

Не проводя математического моделирования той или иной тренировки, нельзя давать нагрузку спортсмену [1].



Расстановка игроков на поле и формулы комбинаторики

Игроки делятся на 4 амплуа: вратарь – защитник – полузащитник – нападающий. Расстановки во время игры выбирает тренер команды. Стандартная расстановка 4 – 4 – 4 – 2. Существуют и другие расстановки: 4 – 2 – 2 – 2; 4 – 1 – 2 – 1 – 2; 4 – 3 – 3; 4 – 5 – 1; 5 – 3 – 2. Состав нашей команды в последнем матче против Уэльса был следующим: 1 вратарь, 5 защитников, 5 полузащитников, 3 нападающих; схема игры: 4 – 3 – 3. Количество способов выбрать основной состав команды огромно.

Сначала мы поставили и решили следующую задачу: из пяти защитников для игры надо выбрать четверых. Сколькими способами это можно сделать (с учетом и без учета фланга)? Эту задачу мы решили, используя формулы комбинаторики:

1. Без учета флангов: (— число размещений) Размещения – соединения, содержащие по k предметов из числа n данных, различающихся либо порядком предметов, либо самими предметами; число их.

$$A_n^k = n(n-1)(n-2) \cdots (k\text{-множителей});$$

$$A_5^4 = 5 \cdot (5-1)(5-2)(5-3) = 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 = 120$$

(способов)

Полузащитников нужно выбрать троих из пяти. Имеем упорядоченные тройки элементов из пяти:

$$A_5^3 = 5 \cdot (5-1)(5-2) = 5 \cdot 4 \cdot 3 = 60$$

(способов)

2. С учетом флангов: (— число сочетаний).

В комбинаторике сочетанием из n по k называется набор k элементов, выбранных из данных n элементов. Имеем неупорядоченные тройки элементов из пяти. Найдём количество их сочетаний:

$$C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}$$

$$C_5^4 = \frac{5!}{4!(5-4)!} = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 1} = 5$$

(способов).

Вратарей – 1, нужен – 1. Нападающих – 3, нужно – 3. Трёх полузащитников из пяти можно выбрать 10 способами:

$$C_5^3 = \frac{5!}{3!(5-3)!} = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 2} = 10$$

(способов).

Итак, всего способов выбрать: вратаря – 1, нападающих – 1, защитников – 120, полузащитников – 60. Всего 182 способа без учета флангов. Для игры можно выбрать игроков $1 + 1 + 5 + 10 = 17$ **способов** (с учетом флангов). Тренеру необходимо

из такого многообразия в основной состав отобрать наиболее перспективных. Выбор не из легких!

Физика и футбол

Расчет оптимального угла удара по мячу

Рассмотрим как рассчитать оптимальный угол для удара по футбольному мячу для того, чтобы мяч пролетел наибольшее расстояние [8]. Пусть v_0 – начальная скорость мяча; L – расстояние от точки удара до цели; Средняя скорость классного футболиста – 108 км/ч=30 м/с; V_y – максимальная высота подъема мяча; g – ускорение свободного падения.

Решение.

$$L = v_0 t_{\text{полёта}}; L = v_0 \cos \alpha t_{\text{полёта}},$$

тогда
$$t_{\text{полёта}} = \frac{L}{v_0 \cos \alpha},$$

$$t_{\text{полёта}} = 2 t_{\text{подъёма}}; v_y = -v_0 \sin \alpha + g t_{\text{подъёма}}$$

(в момент удара о землю $v_y = 0$);

$$t_{\text{подъёма}} = v_0 \sin \alpha / g; \frac{L}{v_0 \cos \alpha} = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g};$$

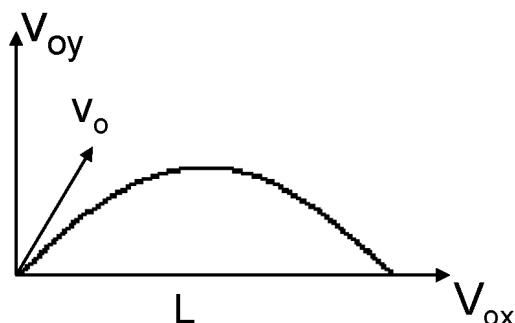
$$2v_0^2 \cos \alpha \sin \alpha = Lg; L = \frac{v_0 \sin 2\alpha}{g} \quad (1)$$

Подставив в формулу (1) значения α равные 20°, 30°, 40° и 50° и произведя необходимые вычисления, мы получили следующую таблицу.

α	20°	30°	40°	50°	60°
L	54 м	78,3 м	90 м	90 м	78,3 м

Таким образом, мы замечаем, что мяч пролетит наибольшее расстояние, если $40^\circ < \alpha < 50^\circ, \alpha \approx 45^\circ$. Задача решена без учета сопротивления воздуха, а на практике, чтобы футбольный мяч пролетел большее расстояние и с более высокой скоростью, футболист должен его направлять под углом 25–30 градусов от поверхности земли.

Иногда имеет значение не дальность удара, а время полета мяча. Например, когда нужно быстрым пасом заставить противника врасплох, в этом случае траектория должна быть на несколько градусов ниже. Это почти не изменит дальность, но может изменить время полета, а сэкономленные десятые доли секунды порой приобретают решающее значение в ходе матча.

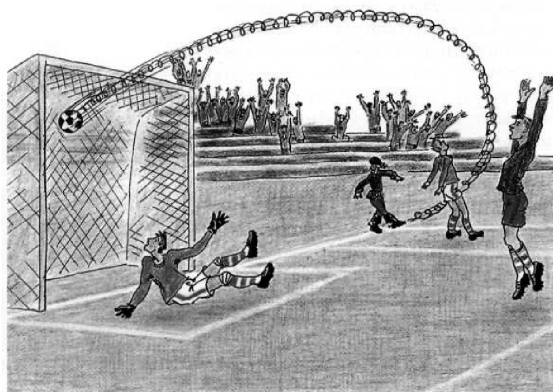


Биофизика в технике вратаря и эффект Магнуса

Оценить быстроту реакции вратаря можно, зная, что для людей верхним пределом быстроты реагирования служит время, необходимое нервной клетке для приема информации, которое составляет 0,01 с. Когда объект зафиксирован глазом, мозг распознает его за 0,05 с. Вратарь должен знать о том, что мигать при пробивании ему пенальти нельзя и быть во всеоружии, когда назначаются штрафные и угловые удары, в которых футболисту иногда удается пустить мяч по закрученной траектории. «Сухой лист» – так называют задание мячу вращения. Основным признаком удара «сухой лист» является траектория полёта мяча. Изначально мяч летит по сложной дуге и на последнем участке траектории падает резко вниз.

Мяч будем считать объектом массой m , радиусом R , центр масс которого является постоянным [12]. Учтем, что движение происходит в поле сил тяжести с постоянным ускорением свободного падения g . Учтём также силу сопротивления воздуха и эффект Магнуса [11].

Найдём ускорения мяча (массой 450г, радиусом 11 см, двигающегося с линейной скоростью 35 м/с и с угловой скоростью 10 об/с в воздушной среде, вязкость которой при нормальных условиях составляет $17.20 \cdot 10^{-6}$ Па·с сначала без учёта силы сопротивления и эффекта Магнуса, а потом с учётом их влияния [10]. Ускорение тела в первом случае равно ускорению свободного падения, то есть $a=g=9.8$ м/с². Ускорение тела во втором случае (при учёте силы сопротивления и эффекта Магнуса) равно 9,98 м/с².



$$a = \frac{F_p}{m} = \frac{F_g - F_{\text{сопротивл}} + F_m}{m} =$$

$$= \frac{4,41 - 0,0014258 + 2 \cdot 62,8 \cdot 40 \cdot 17,20 \cdot 10^{-6}}{0,45} = 9,98 \text{ м/с}^2.$$

Следовательно, ускорение тела зависит от эффекта Магнуса и силы сопротивления воздуха [2]. Таким образом, для результативной игры, тренерам и игрокам в футбол необходимо учитывать биофизические возможности организма человека, физические процессы, которые могут сопровождать игру.

Полет мяча

Рассмотрим простейший случай, когда мяч отвесно падает с некоторой высоты. Допустим сначала, что это происходит не в воздушной среде, а в пустоте и что начальная скорость мяча равна нулю. Все тела падают в пустоте с постоянным ускорением $g=9,8$ м/сек. Мяч, как и любое тело, падая в безвоздушном пространстве, движется равномерно ускоренно. На падающий мяч помимо веса (P) действует и сила сопротивления воздуха (R), противоположная направлению скорости. Поэтому скорость падения мяча в воздухе всегда меньше скорости падения в пустоте [8]. Расчет показывает, что скорость падения мяча можно принять равной 14 м/сек. Она мало отличается от скорости падения в пустоте. Должен ли вратарь выйти из ворот на игру в тот момент, когда мяч начинает падать с пятиметровой высоты на нападающего, который находится в положении, выгодном для удара по воротам? Условимся, что мяч находится в 10 метрах от ворот, а вратарь может пробежать десятиметровое расстояние за 1,4 секунды. Нетрудно установить, что мяч пролетит пятиметровое расстояние до поля за 1 секунду, а до головы нападающего – еще скорее. Вратарь в этом случае наверняка опоздает.

Решая подобные задачи за столом, и выполняя простейшие расчеты, игроки научатся быстрее и более сознательно находить правильные решения и в игровых ситуациях.

Как добиться точности ударов по воротам – их прицельности по высоте? Представим себе, что мяч, находившийся на поверхности поля, приобрел в результате удара некоторую начальную скорость. Разумеется, во время полета скорость будет непрерывно меняться. Если бы мяч двигался в пустоте, на него действовала бы только сила тяжести (P), направленная вертикально вниз. Под действием этой силы мяч перемещался бы по кривой линии – параболе. Траектория полета мяча в воздухе будет также криволинейной, но более крутой. При полете в воздухе мяч, помимо силы тяжести (P), испытывает воздействие и силы сопротивления воздуха (R), направленной противоположно скорости. Начальная скорость и угол вылета оказывают решающее влияние на дальность полета и максимальную высоту мяча. Каким должен быть угол вылета мяча, чтобы максимальная высота полета мяча не превышала высоты ворот – 2,44 метра? Кривая полета мяча в воздухе показывает, что начальная скорость 40 м/сек. уже не удовлетворит условиям прицельности – мяч пройдет выше ворот. А разница в углах вылета составляет всего один градус! Итак, футболист должен твердо знать, что при ударе практически с любого расстояния угол вылета, не превышающий 11° , гарантирует прицельность – мяч выше перекладины не поднимется. А теперь угол вылета свяжем с техникой выполнения удара. Бьющая нога в момент удара должна быть выпрямлена в коленном

Команда «Прорыв» МБОУ «Никифоровская СОШ №2»

№ п/п	Фамилия имя	Возраст	Позиция	H(м)				t (с)				t ± Δt
				h ₁	h ₂	h ₃	Среднее	t ₁	t ₂	t ₃	Среднее	
1	Кочнев Дмитрий	15 лет	Защитник	0,09	0,12	0,17	0,13	0,17	0,15	0,15	0,157	0,157±0,008
2	Никитин Даниил	15 лет	Полузащитник	0,21	0,28	0,23	0,24	0,21	0,17	0,19	0,19	0,190±0,008
3	Селиванов Виктор	15лет	Защитник	0,17	0,18	0,22	0,9	0,19	0,23	0,22	0,213	0,213±0,008
4	Шмаков Артем	14лет	Нападающий	0,17	0,21	0,20	0,19	0,23	0,21	0,22	0,220	0,220±0,008
5	Дубовицкий Владимир	15лет	Вра-тарь	0,09	0,07	0,14	0,14	0,12	0,09	0,13	0,113	0,113±0,008
6	Милисов Максим	15лет	Нападающий	0,37	0,34	0,42	0,38	0,21	0,23	0,24	0,160	0,160±0,008

суставе до отказа. Расчет показывает, а практика футбола подтверждает одно важное положение – для прицельного удара по высоте опорную ногу следует ставить около самой линии, на которой находится мяч. В этом случае траектория мяча будет отлогой и мяч не пройдет выше ворот. Футболисту, изучив технику ударов по воротам, правильно ставив опорную ногу и, доведя выполнение приема до автоматизма не придется переживать неудачу.

Понимание механики полета мяча поможет игроку более сознательно совершенствоваться в технике ударов и быстрее овладеть спортивным мастерством. Таким образом, мы лишь на нескольких примерах показали, как можно использовать законы полета мяча в практике футболиста. Понимание механики полета мяча поможет игроку более сознательно совершенствоваться в технике ударов и быстрее овладеть спортивным мастерством.

Моделирование нестандартных задач при игре в футбол

Определение быстроты реакции футболиста на движущийся объект

Приборы и материалы: линейка, секундомер.

Ход работы. Берется деревянная линейка 50 см в длину, на ней ставится засечка (посередине). На стене делается отметка. Ассистент прижимает вертикально расположенную линейку к стене так, чтобы засечка на ней совпадала с отметкой на стене. Затем, отвлекая внимание участника эксперимента, отпускает линейку в свободное падение. Участник должен остановить падение ли-

нейки, так быстро, как сможет. Ассистент отмечает новое положение засечки линейки и производит замер её полета (h), т.е. расстояние между отметками на стене[4].

Чтобы вычислить эту величину в секундах, надо воспользоваться известной формулой для времени свободного падения тела, $t = \sqrt{2h/g}$, где h – расстояние, которое пролетела линейка, g – ускорение свободного падения.

Список литературы

1. Васильева В.В., Коссовская Э.Б., Попова Г.М., Трунин В.В.. Динамика некоторых показателей дыхания и кровообращения при тренировке на выносливость // Теория и практика физической культуры. – 1984. – № 5. – С. 18–20.
2. Иванов А.К. Футбол глазами физика // Физика в школе. – 1994. – № 5. – С. 40.
3. Казаков П.Н. Футбол. – М.: Физкультура и спорт, 2001.
4. Любомирский Л.Е. Управление движениями у детей и подростков. – М.: Педагогика, 1998. – С. 224.
5. Осташев П.В. Прогнозирование способностей футболиста. – М.: Физкультура и спорт, 1992. – С.96.
6. Степанова Г.Н. Механика. – С-Пб: «СТП ШКОЛА», 2003. – 182 с.
7. Филин В.П. Основы юношеского спорта. – М.: Физкультура и спорт, 1994. – С. 254.
8. Шилов В.Ф. Как определить скорость мяча // Физическая культура в школе. - 2004. – № 6. -С.52/
9. <http://sib-anaLitic.naRod.Ru/>.
10. http://genius.Pstu.Ru/fiLe.Php/1/PuPiLs_woRks_2013/ILenko_Djakov.Pdf.
11. <http://www.shtangagoL.Ru/istoRiya-igRy/futboL-i-fizika>.
12. <http://masteRok.LivejouRnaL.com/2450875.html>.
13. <http://www.dokabaLL.com/tReniRovki1/PRogRamma-Podgotovki/544-udaRy-Po-myachu>.
14. <http://www.dokabaLL.com/tReniRovki1/PRogRamma-Podgotovki/544-udaRy-Po-myachu>.