УДК 531.55:004.94

Илияс А.
ученик 10 класса
Республиканская физико-математическая школа
Казахстан, г. Астана

Научный руководитель: Сыдык А.
студент бакалавриата
Нью-Йоркский университет Абу-Даби
ОАЭ, г. Абу-Даби

ПОПРАВКА НА ВИРТУАЛЬНУЮ ЦЕЛЬ ПРИ СТРЕЛЬБЕ НА ХОДУ В СЕЗОНЕ FIRST TECH CHALLENGE BIOBUZZ: РАСЧЕТ ДЛЯ НОВОГО ИГРОВОГО ЭЛЕМЕНТА И НОВОЙ ЦЕЛИ

Аннотация: *Робот, который стреляет на ходу, передает мячу свою скорость, и команды соревновательной робототехники исправляют это поправкой на виртуальную цель: прицел сдвигается против движения на произведение скорости робота и времени полета мяча. Цель работы: проверить две простые формы этого правила и выяснить, что меняется при переходе от сезона FIRST Tech Challenge DECODE к новому сезону BIOBUZZ с меньшим мячом, высокой наклонной целью и новым ограничением высоты робота. Использована трехмерная модель полета материальной точки с квадратичным сопротивлением воздуха, построенная на основе ранее опубликованной модели для робота команды автора, с размерами из официального руководства игры и массой мяча по данным производителя. Форма, в которой время полета пересчитывается для самой сдвинутой точки, без сопротивления воздуха точна, а с ним ошибается до 0,47 м в DECODE и до 0,20 м в BIOBUZZ, форма со временем полета до настоящей цели ошибается до 0,91 м; в BIOBUZZ сопротивление воздуха сдвигает мяч лишь на 2-18 см, и главной ошибкой*

становится собственная скорость робота, особенно боковая, до 1,75 м без поправки. Подъем точки выстрела с 0,30 до 0,60 м, который правила нового сезона разрешают, сокращает ближнюю зону, откуда нельзя попасть, с 0,80 до 0,58 м при капоте до 60 градусов и скорости вылета до 9 м/с.

Ключевые слова: *робототехника, механика, движение тела в воздухе, сопротивление воздуха, стрельба на ходу, виртуальная цель, FIRST Tech Challenge.*

Iliyas A.
10th grade student
National School of Physics and Mathematics (RFMSh)
Kazakhstan, Astana

Scientific supervisor: Sydyk A.
undergraduate student
New York University Abu Dhabi
UAE, Abu Dhabi

THE VIRTUAL-TARGET CORRECTION FOR SHOOTING ON THE MOVE IN THE FIRST TECH CHALLENGE BIOBUZZ SEASON: A CALCULATION FOR THE NEW GAME PIECE AND THE NEW TARGET

Abstract: *A robot that shoots while driving passes its own velocity to the ball, and competitive robotics teams correct for this with a virtual-target correction: the aim point is shifted against the motion by the robot's speed multiplied by the ball's flight time. The aim of this paper is to test two simple forms of this rule and to find what changes from the FIRST Tech Challenge DECODE season to the new BIOBUZZ season, with a smaller ball, a high tilted target and a new robot height limit. A three-dimensional point-mass flight model with quadratic air drag is used, built on a previously published model for the*

author's team robot, with dimensions from the official game manual and the ball mass from the manufacturer. The form in which the flight time is recomputed for the shifted point itself is exact without drag and errs by up to 0.47 m in DECODE and up to 0.20 m in BIOBUZZ with drag, the form that uses the flight time to the real goal errs by up to 0.91 m; in BIOBUZZ drag moves the ball by only 2 to 18 cm, so the main error becomes the robot's own velocity, above all sideways, up to 1.75 m without correction. Raising the launch point from 0.30 to 0.60 m, which the new rules allow, shrinks the near zone from which no shot can enter from 0.80 to 0.58 m with a hood of up to 60 degrees and an exit speed of up to 9 m/s.

Keywords: *robotics, mechanics, motion of a body in air, air drag, shooting on the move, virtual target, FIRST Tech Challenge.*

Введение

На матчах против нас начали играть в жесткую защиту, и вся наша красивая стратегия с тремя точками для стрельбы просто посыпалась. Соперники толкали робота без остановки, так что мы вообще не могли спокойно встать и прицелиться. Робот постоянно двигался прямо в момент выстрела, и из-за этой лишней скорости мячи стабильно перелетали мимо цели. Мы смотрели на эти промахи и понимали, что на поле никто не даст нам роскоши постоять неподвижно. В тот момент стало четко понятно: надо переписать алгоритм, чтобы робот попадал прямо в движении, даже когда его толкают, иначе против нормальной защиты нам ничего не светит.

Представьте, что вы пасуете мяч на бегу: если бросить его изо всех сил прямо перед собой, ваша собственная скорость добавится к броску, и мяч улетит намного дальше, чем планировалось. С роботом происходит ровно то же самое: при стрельбе на ходу инерция платформы стабильно уносит мяч за пределы цели. Чтобы компенсировать этот лишний импульс, мы используем принцип виртуальной цели: робот целится не в саму цель, а в воображаемую точку, сдвинутую назад. Алгоритм берет текущую

скорость робота, умножает ее на время полета мяча в воздухе и рассчитывает, на сколько именно нужно сдвинуть прицел к себе. Робот делает выстрел по этой смещенной точке, а инерция его движения автоматически доносит мяч ровно в центр реальной цели.

Команда FoxSlide #29029 выступает в FIRST Tech Challenge, международных соревнованиях школьных команд, где каждый сезон выходит новая игра с новым игровым элементом и новой целью. В сезоне DECODE робот команды стрелял мячами в ворота, а на тест-драйве накануне соревнований FIRST Championship в Хьюстоне в 2026 году стрелял прямо во время движения. В предыдущей работе автора [3] эта поправка была проверена на модели полета мяча с сопротивлением воздуха по данным робота команды. Оказалось, что без учета воздуха решение для выстрела недолетает на 15-22% дальности, что собственная скорость робота сбивает прицел примерно на полметра на каждый метр в секунду и что точная поправка, найденная итерациями через модель, убирает эту ошибку до нескольких миллиметров. Вблизи ворот поправка не работала по геометрической причине, а поднять точку выстрела не позволяло правило высоты робота [2]. При этом в [3] не проверялось само простое правило «скорость, умноженная на время полета», которым пользовалась команда, и робот считался едущим только прямо к цели.

Как только анонсировали новый сезон BIOBUZZ, мы сразу поняли, что алгоритм виртуальной цели переедет на нового робота с первого же дня. Но после первого турнира Digital Bridge стало очевидно, что в этом году стрельба на ходу будет еще важнее, чем в DECODE. Игра стала куда быстрее и агрессивнее, а соперники включают плотную защиту с самого начала матча. Главный совет командам, которые начинают новый сезон с нуля: не стоит рассчитывать только на фиксированные точки для стрельбы. Соперники быстро просчитают эти точки, будут постоянно толкать робота, и выбивать очки станет намного сложнее.

В сезоне BIOBUZZ меняются все три части задачи [1]. Игровой элемент POLLEN в 1,75 раза меньше мяча DECODE по диаметру и, если сравнивать с оценкой массы из [3], примерно вдвое легче. Цель, ячейка CELL конструкции HIVE в центре поля, находится на высоте 1,36-1,67 м, а ее проем наклонен на 30 градусов и обращен в сторону, тогда как в DECODE мяч падал сверху в горизонтальный проем на высоте 0,98 м. Наконец, после начала матча робот теперь может в любой момент иметь высоту до 73,65 см, а не 45,7 см, как в обычной игре DECODE, и зон запуска, как в DECODE, в руководстве нет. Отсюда три задачи работы: 1) сравнить две простые формы правила виртуальной цели с точной поправкой в DECODE и в BIOBUZZ; 2) оценить для BIOBUZZ ошибки от сопротивления воздуха и от движения робота, в том числе бокового; 3) найти ближнюю зону, откуда нельзя попасть в CELL, при разных высотах выстрела и предельных углах капота.

Методы

Модель полета. Как и в [3], мяч считается материальной точкой, на которую действуют тяжесть и квадратичное сопротивление воздуха [6]: ускорение равно $a = -g \cdot z - k \cdot |v| \cdot v$, где z единичный вектор вверх, $k = \rho \cdot C_d \cdot A/(2m)$, A площадь сечения мяча, $\rho = 1{,}225$ кг/м³, $C_d = 0{,}47$ для гладкой сферы [5], $g = 9{,}80665$ м/с². Уравнения интегрируются явно: скорость по методу Эйлера, положение по формуле трапеций; шаг 2 мс для DECODE, как в [3], и 1 мс для BIOBUZZ, где полет короче. Для DECODE используется модель [3] без изменений. Для BIOBUZZ модель трехмерная: к горизонтальной скорости мяча добавляется вектор скорости робота любого направления. Вращение мяча, которое создает подъемную силу [7], не учитывается. Число Рейнольдса для POLLEN при скорости 5 м/с около 24 000, то есть заметно ниже области кризиса сопротивления, которая для гладкой сферы начинается при числах порядка 100 000 и выше [5]; коэффициент 0,47 взят, как в [3], и проверен в анализе чувствительности.

Исходные данные. Они сведены в таблицу 1. Масса POLLEN взята со страницы производителя [4]; в DECODE масса мяча в руководстве не указана и в [3] была оценкой. Параметры пусковой установки нового робота команды еще не измерены, поэтому для BIOBUZZ принят прежний диапазон капота 30-60 градусов, прежняя максимальная скорость робота 2,73 м/с, а скорость вылета считается свободной в пределах 1,5-9,0 м/с.

Таблица 1. Исходные данные двух сезонов

Величина	**DECODE [2, 3]**	**BIOBUZZ [1, 4]**
Мяч, диаметр	12,45 см	7,1 см (2,8 дюйма)
Мяч, масса	49 г (оценка)	24,95 г (0,055 фунта)
Параметр сопротивления k	0,0717 1/м	0,0458 1/м
Цель	горизонтальный проем шириной 67,3 см	проем CELL 50,8 × 35,6 см, наклон 30°
Высота цели	край на 0,9845 м	нижний край 1,359 м, верхний 1,666 м
Предел высоты робота после начала матча	45,7 см, выше только в последние 20 секунд и вне зон запуска	73,65 см в любой момент
Дистанции	0,86-3,90 м (зоны запуска)	0,6-2,0 м (в работе)

Источник: руководства игры [1, 2], страница производителя [4], работа [3]; k рассчитан по формуле выше.

Цель BIOBUZZ. Проем ячейки, обращенной вверх, задается плоскостью, наклоненной на 30 градусов от вертикали; его центр находится на высоте 1,5125 м (среднее нижнего и верхнего краев), а дистанция D измеряется по горизонтали от точки выстрела до этого центра. Промах описывается двумя числами в плоскости проема: s, смещение вдоль проема вверх от центра, и w, смещение вбок. Проем имеет форму пятиугольника: ширина 50,8 см до высоты 19,35 см от нижнего края и сужение к вершине на высоте 35,55 см [1]. Попаданием считается прохождение центра мяча внутри проема с запасом в радиус мяча, при движении внутрь ячейки. На средней линии это дает допуск по s от −0,142 до +0,135 м (вверху проем сужается к вершине), а по w ±0,218 м в нижней части проема; у верхних скошенных краев допуск вбок меньше. Так как проем почти вертикален, мяч может войти в него и на подъеме; вариант,

при котором засчитывается только опускающийся мяч, как в [3], рассчитан отдельно.

Решение для выстрела стоя. Для каждой дистанции перебираются углы капота от 30 до 60 градусов с шагом 1 градус, для каждого угла скорость вылета подбирается бисекцией так, чтобы мяч прошел через центр проема, и выбирается угол, требующий наименьшей скорости. Правило [3] «угол, ближайший к 45 градусам» здесь не подходит: для цели на 0,9-1,2 м выше точки выстрела оно выбирает скорости у верхней границы диапазона, и ответ зависел бы от этой условной границы. Высота точки выстрела 0,30 м, как в [3], и 0,60 м, что в BIOBUZZ разрешено правилом R105 [1].

Дистанции. По размерам из руководства центр проема находится примерно в 0,40 м по горизонтали от оси поворота HIVE, а до стенки поля от него около 1,43 м. Поэтому, по оценке, робот может стоять прямо напротив проема лишь на дистанциях примерно до 1,0-1,3 м, в зависимости от того, где на роботе стоит пусковая установка. Дистанции 1,5 и 2,0 м соответствуют выстрелам сбоку, которые в работе упрощенно считаются выстрелами в лоб.

Три способа прицеливания на ходу. Пусть C центр цели на плоскости поля, u скорость робота, t(P) время полета мяча при выстреле стоя в точку P. Сравниваются:

$$\text{A1:}\quad P = C - u \cdot t(C);$$

A2: $P = C - u \cdot t(P)$, точка P ищется как корень этого уравнения;

и точная поправка, при которой точка P подбирается итерациями (методом Ньютона в двух координатах для BIOBUZZ и способом [3] для DECODE) так, чтобы мяч, выпущенный на ходу, прошел через центр настоящей цели. В A1 берется время полета до настоящей цели, в A2 время полета до самой сдвинутой точки. Описание алгоритма команды «скорость робота, умноженная на время полета мяча» допускает обе формы. Корень

уравнения A2 ищется по времени полета λ: функция $t(|C - u \cdot \lambda|) - \lambda$ вычисляется на сетке λ от 0,02 до 1,20 с с шагом 0,02 с, корень уточняется делением пополам, и берется корень, ближайший ко времени полета до цели. Так же находится точка A2 и для DECODE. Отдельно проверено, находит ли эту точку простое повторение формулы, начиная с цели (с точностью 1 мм не более чем за 60 шагов). Во всех трех случаях робот стреляет решением для выстрела стоя в точку P, а модель с сопротивлением воздуха показывает, куда на самом деле попадает мяч. Скорость робота направлена либо прямо к цели (0,5; 1,0; 2,0 и 2,73 м/с), либо вбок, перпендикулярно линии на цель.

Прямой выстрел и проверка точки. При движении прямо к цели дополнительно проверено: 1) есть ли вообще точка прицеливания на линии цели, при которой мяч попадает (перебор точек с шагом 1 см); 2) есть ли угол капота и скорость вылета, при которых мяч попадает без виртуальной цели, если в расчет сразу заложить скорость робота.

Ближняя зона и чувствительность. Для высот выстрела 0,30; 0,45; 0,60 и 0,70 м и предельных углов капота 60, 70 и 80 градусов найдена наименьшая дистанция, с которой есть решение стоя (с шагом 1 см). Масса мяча менялась на ±20%, коэффициент сопротивления от 0,35 до 0,60. Все расчеты выполнены программой на языке Python без внешних библиотек.

Результаты

Простые формы правила в DECODE. Таблица 2 показывает промах при прицеливании по формам A1 и A2 и по точной поправке в модели [3]. Отрицательный знак означает недолет: обе простые формы сдвигают прицел слишком сильно. Форма A1 ошибается от 0,11 до 0,91 м, форма A2 от 0,11 до 0,47 м, точная поправка не больше 3 мм. Для сравнения, в [3] промах сравнивался с половиной ширины проема, 0,337 м: A1 выходит за нее при 2 м/с уже с 3,0 м, A2 на 3,5 м при 2,73 м/с и на 3,9 м при 2 и 2,73 м/с.

Таблица 2. DECODE: промах (м) при трех способах прицеливания на ходу

Дистанция, м	Скорость робота, м/с	A1	A2	Точная поправка
2,25	1,00	−0,11	−0,11	+0,002
2,50	1,00	−0,12	−0,13	+0,003
3,00	1,00	−0,20	−0,15	+0,003
3,00	2,00	−0,37	−0,28	−0,001
3,00	2,73	нет решения	нет решения	+0,002
3,50	1,00	−0,30	−0,18	+0,001
3,50	2,00	−0,55	−0,33	+0,001
3,50	2,73	нет решения	−0,41	0,000
3,90	1,00	−0,33	−0,21	+0,002
3,90	2,00	−0,71	−0,37	0,000
3,90	2,73	−0,91	−0,47	−0,001

Источник: расчет по модели [3]. «Нет решения»: сдвинутая точка оказывается ближе 1,5 м, где у робота DECODE нет решения стоя [3]; для A2 это значит, что у уравнения нет корня вне этой зоны. Строки, где нет решения ни для одного способа, не показаны.

Почему на дальних дистанциях A2 ошибается меньше (на 2,25 и 2,5 м обе формы почти равны), видно из простого рассуждения. Без сопротивления воздуха мяч, выпущенный на ходу, летит по той же траектории, что и при выстреле стоя в точку P, только сдвинутой на u·t за время t. В момент t(P) мяч при выстреле стоя был бы в точке P на высоте цели, а на ходу он окажется в точке P + u·t(P). Если P = C − u·t(P), это и есть центр цели. Значит, без воздуха форма A2 точна, а форма A1 нет, потому что время полета до более близкой точки меньше, чем до цели. Расчет это подтверждает: при выключенном сопротивлении на дистанции 3,9 м A2 ошибается не больше чем на 4 мм при всех скоростях, а A1 на 0,11; 0,26 и 0,36 м при 1, 2 и 2,73 м/с. С воздухом добавленная скорость робота гасится в полете, поэтому даже A2 сдвигает прицел слишком сильно.

BIOBUZZ: выстрел стоя и роль воздуха. Решения стоя приведены в таблице 3. Во всех случаях, кроме одного, выгоднее всего предельный угол капота 60 градусов: цель высоко и близко, и ограничение капота становится главным. С высоты 0,30 м решения нет на дистанции 0,6 м, а на 0,8-1,2 м мяч проходит проем еще на подъеме. Решение, рассчитанное без

сопротивления воздуха, с ним дает промах от 2 до 18 см вдоль проема и выводит мяч за проем только на 2,0 м. В DECODE та же ошибка составляла 27-85 см [3]: у меньшего мяча параметр сопротивления на 36% меньше, а дистанции короче.

Таблица 3. BIOBUZZ: решения для выстрела стоя

Высота выстрела, м	**Дистанция, м**	**Угол капота, °**	**Скорость вылета, м/с**	**Время полета, с**	**Мяч у проема идет**	**Промах решения без воздуха, м**
0,30	0,6	нет решения				
0,30	0,8	60	8,72	0,19	вверх	−0,04
0,30	1,0	60	6,32	0,33	вверх	−0,05
0,30	1,2	60	5,90	0,43	вверх	−0,07
0,30	1,5	60	5,86	0,54	вниз	−0,11
0,30	2,0	60	6,20	0,69	вниз	−0,18 (мимо)
0,60	0,6	60	7,60	0,16	вверх	−0,02
0,60	0,8	60	5,26	0,31	вверх	−0,03
0,60	1,0	60	5,02	0,41	вверх	−0,05
0,60	1,2	60	5,07	0,49	вниз	−0,07
0,60	1,5	60	5,31	0,59	вниз	−0,10
0,60	2,0	57	5,78	0,68	вниз	−0,16 (мимо)

Источник: расчет по модели работы. Промах решения без воздуха: насколько ниже центра проема (по s) проходит мяч, если решение рассчитать без сопротивления, а полет с ним.

BIOBUZZ: движение вбок. Таблица 4 показывает боковой промах w для высоты выстрела 0,60 м. Без поправки мяч уходит вбок почти точно на скорость робота, умноженную на время полета, и выходит за проем уже при 1 м/с с дистанции 0,8 м; на полной скорости промах доходит до 1,72 м. Форма A1 на дистанциях до 1,2 м недоправляет: прицел вынесен вбок, до него мяч летит дольше, чем до цели, и сдвига не хватает; на полной скорости на этих дистанциях мяч уходит мимо, а всего при боковом движении A1 попадает в 36 из 44 случаев. Форма A2 немного переправляет из-за сопротивления воздуха и остается в проеме везде, кроме полной скорости на 2,0 м, где мяч с w = −0,19 м и s = +0,05 м задевает верхний

скошенный край. Для высоты 0,30 м картина та же: наибольший промах без поправки 1,75 м, по A1 0,37 м, по A2 0,20 м. Точная поправка дает промах не больше 1 мм; ее итерации сошлись в 39 из 44 случаев бокового движения для обеих высот, а в остальных пяти мяч попадает и по форме A2. Сдвиг прицела при этом большой: на полной скорости пусковая установка должна смотреть на 48-71 градус в сторону от линии на цель, точка прицела уходит вбок до 2,2 м, а расстояние до нее до 3,0 м.

Таблица 4. BIOBUZZ, высота выстрела 0,60 м, движение вбок: боковой промах w (м)

Дистанция, м	Боковая скорость, м/с	Без поправки	A1	A2
0,6	1,00	+0,16	+0,02	−0,01
0,6	2,00	+0,32 мимо	+0,14	−0,03
0,6	2,73	+0,43 мимо	+0,30 мимо	−0,06
0,8	1,00	+0,30 мимо	+0,02	−0,01
0,8	2,00	+0,61 мимо	+0,18	−0,05
0,8	2,73	+0,83 мимо	+0,41 мимо	−0,10
1,0	1,00	+0,40 мимо	+0,02	−0,02
1,0	2,00	+0,79 мимо	+0,18	−0,04
1,0	2,73	+1,08 мимо	+0,42 мимо	−0,12
1,2	1,00	+0,47 мимо	+0,01	−0,02
1,2	2,00	+0,94 мимо	+0,17	−0,07
1,2	2,73	+1,28 мимо	+0,32 мимо	−0,13
1,5	1,00	+0,56 мимо	−0,02	−0,03
1,5	2,00	+1,13 мимо	+0,04	−0,09
1,5	2,73	+1,53 мимо	+0,14	−0,15
2,0	1,00	+0,64 мимо	−0,04	−0,04
2,0	2,00	+1,27 мимо	−0,02	−0,11
2,0	2,73	+1,72 мимо	+0,07	−0,19 мимо

Источник: расчет по модели работы. Знак плюс: в сторону движения робота. «Мимо»: центр мяча проходит вне проема с запасом в радиус мяча (вбок дальше ±0,218 м внизу проема, у верхних скошенных краев допуск меньше).

BIOBUZZ: движение прямо к цели. Здесь знак ошибки зависит от того, поднимается мяч у проема или уже опускается (таблица 5, высота 0,60 м). На коротких дистанциях мяч проходит проем на подъеме; при подъезде он долетает быстрее и оказывается ниже центра, то есть промах получается вниз, а не перелетом. На 2,0 м, где мяч уже опускается, подъезд дает перелет вверх по проему, как в DECODE. На 1,5 м эти два эффекта

почти уравновешены, и мяч попадает без поправки на всех скоростях. Точка А2 при движении к цели попадает с ошибкой не больше 3 см везде, где она существует. Ее нет вблизи цели: с высоты 0,60 м на дистанции 0,6 м при любой скорости, на 0,8 м при 2 м/с и больше и на 1,0 м при полной скорости; с высоты 0,30 м на 0,8 м при любой скорости, на 1,0 м при 2 м/с и больше и на 1,2 м при полной скорости. В этих случаях сдвинутая точка попадает в ближнюю зону, где у робота нет решения стоя. И попасть там почти никак нельзя: в 12 из этих 14 случаев при капоте до 60 градусов и скорости вылета до 9 м/с нет ни подходящей точки прицела, ни прямого выстрела, в котором скорость робота сразу заложена в расчет. В двух оставшихся подходящие точки есть только у самой границы ближней зоны, а прямой выстрел есть лишь на 1,0 м при 2,73 м/с и требует скорости вылета 7,94 м/с. Форма А1 при подъезде еще хуже: в 28 из 44 случаев ее точка оказывается в ближней зоне, а из 16 остальных мяч попадает в 11, промах доходит до 0,69 м.

Таблица 5. BIOBUZZ, высота выстрела 0,60 м, движение прямо к цели: промах s (м) и наличие решения

Дистанция, м	Скорость к цели, м/с	Без поправки	A2	Подходящая виртуальная точка	Прямой выстрел: капот, скорость вылета
0,8	0,50	−0,15 мимо	0,00	есть	60°, 5,92 м/с
0,8	1,00	−0,30 мимо	+0,01	есть	60°, 6,94 м/с
0,8	2,00	−0,52 мимо	нет точки	только у границы, 0,58 м	нет
0,8	2,73	−0,62 мимо	нет точки	нет	нет
1,0	0,50	−0,05	0,00	есть	60°, 5,18 м/с
1,0	1,00	−0,14	0,00	есть	60°, 5,55 м/с
1,0	2,00	−0,32 мимо	+0,01	есть	60°, 6,77 м/с
1,0	2,73	−0,43 мимо	нет точки	только у границы, 0,58-0,61 м	60°, 7,94 м/с
1,2	0,50	+0,02	0,00	есть	60°, 5,03 м/с
1,2	1,00	−0,02	0,00	есть	60°, 5,14 м/с
1,2	2,00	−0,16 мимо	+0,01	есть	60°, 5,74 м/с
1,2	2,73	−0,27 мимо	+0,01	есть	60°, 6,42 м/с
1,5	0,50	+0,09	−0,01	есть	60°, 5,12 м/с
1,5	1,00	+0,11	−0,01	есть	60°, 5,05 м/с
1,5	2,00	+0,04	0,00	есть	60°, 5,19 м/с
1,5	2,73	−0,05	0,00	есть	60°, 5,49 м/с
2,0	0,50	+0,13	−0,02	есть	60°, 5,52 м/с
2,0	1,00	+0,20 мимо	−0,03	есть	60°, 5,30 м/с
2,0	2,00	+0,21 мимо	−0,03	есть	60°, 5,09 м/с
2,0	2,73	+0,16 мимо	−0,02	есть	60°, 5,09 м/с

Источник: расчет по модели работы. «Мимо»: центр мяча проходит вне проема вдоль него (допуск от −0,142 до +0,135 м). «Нет точки»: у уравнения A2 нет корня, при котором есть решение стоя. Подходящая виртуальная точка найдена перебором точек на линии цели с шагом 1 см.

Как искать точку A2. Точка A2 найдена в 74 из 88 случаев движения для обеих высот, и в 71 из них мяч попадает; три промаха приходятся на боковое движение с полной скоростью на дистанциях 1,5-2,0 м. Простое повторение формулы, начиная с цели, в 21 из этих 74 случаев точку не находит. В 14 случаях, все при движении к цели, уже первый шаг, который совпадает с формой A1, уводит прицел в ближнюю зону, где решения стоя нет, хотя сама точка A2 существует. В 7 случаях бокового движения со скоростью 2-2,73 м/с повторение колеблется на

несколько сантиметров: здесь выбранный угол капота меняется скачком на 1 градус, и в 6 из этих случаев равенство t(P) = λ в найденном корне выполняется лишь с точностью 4-18 мс; мяч при этом попадает.

Ближняя зона. Таблица 6 дает наименьшую дистанцию, с которой есть решение стоя при скорости вылета до 9 м/с. При капоте до 60 градусов подъем точки выстрела с 0,30 до 0,60 м сокращает зону с 0,80 до 0,58 м. Высота 0,70 м дана как предельный случай: вместе с радиусом мяча и самой пусковой установкой она почти упирается в предел 73,65 см. Капот до 70 градусов при высоте 0,60 м дает 0,41 м. У самой границы зоны мяч летит быстро, со скоростью вылета до 9 м/с, и входит в проем на подъеме, где сильнее всего сказались бы не учтенные в модели отскоки. Если засчитывать только опускающийся мяч, как в DECODE, зона больше: 1,37 м для высоты 0,30 м и капота до 60 градусов, то есть почти все положения напротив проема.

Таблица 6. BIOBUZZ: наименьшая дистанция (м), с которой есть решение стоя при скорости вылета до 9 м/с; в скобках, если засчитывать только опускающийся мяч

Высота выстрела, м	Капот до 60°	Капот до 70°	Капот до 80°
0,30	0,80 (1,37)	0,54 (0,87)	0,33 (0,42)
0,45	0,69 (1,20)	0,48 (0,76)	0,29 (0,37)
0,60	0,58 (1,04)	0,41 (0,66)	0,25 (0,32)
0,70	0,51 (0,93)	0,37 (0,59)	0,22 (0,29)

Источник: расчет по модели работы.

Чувствительность. При изменении массы мяча на ±20% и коэффициента сопротивления от 0,35 до 0,60 промах без поправки при подъезде на полной скорости с дистанции 1,0 м (высота 0,60 м) меняется в пределах от −0,425 до −0,439 м. Выводы от этих допущений не зависят.

Обсуждение

Первый результат касается самого правила, которым пользуется команда. Фраза «скорость робота, умноженная на время полета» допускает

две формы, и они заметно различаются. Форма A2, в которой время полета берется для самой сдвинутой точки, без сопротивления воздуха дает точное попадание, что следует из простого сложения движений, и в BIOBUZZ там, где ее точка существует, ошибается не больше чем на 0,20 м. Форма A1, со временем полета до настоящей цели, ошибается до 0,91 м в DECODE и до 0,69 м в BIOBUZZ: в DECODE она сдвигает прицел слишком сильно, а при движении вбок на дистанциях до 1,2 м, наоборот, недостаточно. Практический вывод для кода робота: пересчитывать время полета для сдвинутой точки и искать эту точку как корень уравнения по времени полета, как в этой работе, а не простым повторением формулы, которое при быстром подъезде уводит прицел в ближнюю зону; при возможности искать точку итерациями через модель с воздухом, как в [3].

Второй результат касается того, что важнее в новом сезоне. В DECODE главной ошибкой было сопротивление воздуха [3]. В BIOBUZZ оно сдвигает мяч лишь на 2-18 см, а главной становится собственная скорость робота. Особенно опасно движение вбок: при защите, о которой пишет автор, робота толкают в любую сторону, а боковой промах без поправки выводит мяч за проем уже при 1 м/с. Боковая поправка работает, но требует поворачивать пусковую установку далеко в сторону от цели. При быстром подъезде прямо к цели с коротких дистанций точки A2 нет, и почти всегда попасть нельзя никак: в 12 из 14 таких случаев нет ни подходящей точки прицела, ни прямого выстрела. Отсюда совет для игры: стрелять с большего расстояния или подъезжать к цели медленнее.

Третий результат касается конструкции. В DECODE подъем точки выстрела запрещало правило высоты [2, 3], и ближняя зона была свойством игры. В BIOBUZZ после начала матча робот может иметь высоту до 73,65 см [1], поэтому ближнюю зону можно уменьшить конструкцией: поднять пусковую установку примерно до 0,60 м и, если получится, сделать капот круче 60 градусов. Так как, по оценке, напротив

проема робот стоит на дистанциях примерно до 1,0-1,3 м, разница между зоной 0,80 и 0,58 м заметна для игры.

Ограничения. Пусковая установка нового робота не измерена: диапазон капота, скорость робота и диапазон скорости вылета до 9 м/с взяты из DECODE или заданы условно, и от верхней границы скорости зависит ближняя зона. Вращение мяча, отскоки от краев проема и стенок ячейки не учитываются; проем задан плоскостью, а внутренняя глубина ячейки 30,5 см не моделируется. Коэффициент сопротивления 0,47 принят для гладкой сферы. Дистанции 1,5 и 2,0 м на реальном поле соответствуют выстрелам сбоку, которые здесь упрощенно считаются выстрелами в лоб, а боковые точки прицела уходят за пределы изученных дистанций. Рассмотрен только мяч POLLEN; элемент NECTAR диаметром 9,1 см [1] и то, что после опрокидывания HIVE ячейка, обращенная вверх, смотрит в другую сторону поля, не рассматривались. Расчет не проверен выстрелами на поле. Результаты справедливы для принятых допущений и требуют проверки на роботе.

Заключение

Правило виртуальной цели, которым команда FoxSlide пользовалась в сезоне DECODE, переносится в сезон BIOBUZZ, но его форма важна. Если время полета пересчитывать для сдвинутой точки (форма A2), правило без сопротивления воздуха точно, а с ним в BIOBUZZ ошибается не больше чем на 0,20 м и попадает в 71 из 74 случаев, где эта точка существует; если брать время полета до настоящей цели (форма A1), ошибка доходит до 0,91 м в DECODE и 0,69 м в BIOBUZZ. Точку A2 нужно искать как корень уравнения по времени полета: простое повторение формулы при быстром подъезде уводит прицел в ближнюю зону. В новом сезоне сопротивление воздуха перестает быть главной ошибкой (2-18 см против 27-85 см в DECODE), а главной становится скорость робота, особенно боковая, до 1,75 м без поправки. При быстром

подъезде прямо к цели с коротких дистанций попасть почти никак нельзя, поэтому стрелять там лучше с большего расстояния или медленнее. Новое правило высоты позволяет уменьшить ближнюю зону с 0,80 до 0,58 м (при скорости вылета до 9 м/с) подъемом пусковой установки до 0,60 м. Следующий шаг: измерить пусковую установку нового робота, проверить расчет выстрелами на поле и учесть вращение мяча.

Вклад автора и использование искусственного интеллекта

Автору принадлежат идея поправки на виртуальную цель для робота команды FoxSlide в сезоне DECODE (сдвиг прицела на произведение скорости робота и времени полета мяча), которую команда встроила в программу робота, данные робота, которые автор передал для работы [3], и первый, второй и четвертый абзацы введения (сообщения автора от 4, 5 и 9 октября 2026 г., в них добавлены только знаки препинания); предложение о видео из Хьюстона написано по подписи автора к видео. В работе [3] модель полета мяча собрал, рассчитал и описал наставник автора по исследованию; автору в [3] принадлежат первый абзац вступления, абзац о выводах и замечание о правиле высоты робота, после которого вывод о ближней зоне был переписан. Вопрос и план настоящей работы, перенос модели на сезон BIOBUZZ, программа расчетов и текст статьи, кроме абзацев автора, подготовлены научным руководителем с использованием генеративного искусственного интеллекта (Claude, Anthropic); правила игры и данные о мяче взяты из [1, 4], расчеты и текст проверены отдельными агентами искусственного интеллекта. Автор вручную нашел точку прицела по форме A2 для движения вбок со скоростью 1 м/с на дистанции 1,0 м при высоте выстрела 0,60 м, пользуясь временами полета из таблицы 3 и линейной интерполяцией, и получил сдвиг прицела вбок 0,448 м; программа дает 0,454 м. Автор прочитал статью целиком, проверил и подтвердил приписанные ему слова и сведения.

Использованные источники

1. 2026-2027 FIRST Tech Challenge Competition Manual. BIOBUZZ presented by RTX. Version TU06 // FIRST, 2026. 173 p. URL: https://ftc-resources.firstinspires.org/ftc/game/manual (дата обращения: 26.10.2026).

2. 2025-2026 FIRST Tech Challenge Competition Manual. DECODE Presented by RTX. Team Update 32 // FIRST, 2026. 188 p. URL: https://ftc-resources.firstinspires.org/ftc/archive/2026/game/manual (дата обращения: 26.10.2026).

3. Iliyas A. Shooting on the move: how much aim a robot loses by ignoring its own velocity, and whether a virtual-target correction recovers it // Central Asian Scientific Journal. 2026. No. 4 (32), Vol. 1. P. 284-289. URL: https://cajournal.kz/article.php?id=33 (дата обращения: 26.10.2026).

4. BIOBUZZ Scoring Elements (am-5851_yellow, am-5852) // AndyMark, 2026. URL: https://andymark.com/products/biobuzz-scoring-elements (дата обращения: 26.10.2026).

5. Achenbach E. Experiments on the flow past spheres at very high Reynolds numbers // Journal of Fluid Mechanics. 1972. Vol. 54, № 3. P. 565-575. DOI: 10.1017/S0022112072000874.

6. Chudinov P.S. Approximate analytical description of the projectile motion with a quadratic drag force // Athens Journal of Sciences. 2014. Vol. 1, № 2. P. 97-106. DOI: 10.30958/ajs.1-2-2.

7. Goodwill S.R., Chin S.B., Haake S.J. Aerodynamics of spinning and non-spinning tennis balls // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 2004. Vol. 92, № 11. P. 935-958. DOI: 10.1016/j.jweia.2004.05.004.