## Вступление

Все началось с чрезвычайно провокационного, граничащего с дерзостью заявления, которое категорически не соответствует моим представлением об окружающем мире: «Можно меньше промокнуть, если бежать под дождем – это миф». Другими словами, из этого утверждения следует, что общеизвестным и общепринятым является тот факт, что бегущий под дождем человек промокнет сильнее, чем такой же человек прошедший пешком такое же расстояние, под тем же дождем. Но, какие-то, непроверенные не заслуживающие доверия источники утверждают обратное, что если вы побыстрее уберетесь из под дождя то промокните меньше.

Это заявление прозвучало в телепрограмме Mythbusters (эпизод 001) . Я несколько раз перепроверял - формулировка мифа именно такая: «A person will end up drier by running in the [rain](https://en.wikipedia.org/wiki/Rain) rather than walking.» (<https://en.wikipedia.org/wiki/MythBusters_(2003_season)#Episode_1_%E2%80%93_%22Exploding_Toilet%22)>.

Более того, результатом проверки оказалось разрушение этого мифа, то есть, ведущий, который бежал, промок сильнее ведущего, который шел!? То есть эти непроверенные и не заслуживающие доверия источники, со своими глупостями были поставлены на место. До того момента, в моем мире все было наоборот, и, чтобы меньше промокнуть, я старался бегом добраться до укрытия.

Далее, пару сезонов спустя, этот миф был перепроверен и опровергнут (эпизод 38). Но результаты и в первом и во втором случае оказались не очень показательными: разница собранной воды была небольшой, и вряд ли сильно отличалась от статистической погрешности, и от погрешности измерений на весах. В первом эксперименте дождь создавался путем подачи воды на разбрызгиватели, которые были подвешены под потолок высокого ангара. Во втором эксперименте работали с тем, что упадет с неба. После второго эксперимента ясности стало еще меньше.

Нужно сказать, что первый эксперимент мне понравился больше, так как там были контролируемые условия, причем эти условия можно было поддерживать необходимое время. В случае с обычным дождем условия постоянно меняются – дождь может прекратиться, измениться его интенсивность или подует ветер. На мой взгляд, нужно было продолжить первое исследование: можно было увеличить дистанцию, чтобы сократить статистическую погрешность и сделать результаты более убедительными, можно было попробовать подобрать параметры дождя для того чтобы результаты были более показательными. Mythbusters - отличная телепрограмма, но в этом конкретном случае хотелось взять и все переделать. Особенно заинтересовала тема влияния характера дождя, на итоговое промокание, ведь обычно в таких экспериментах идет усредненный дождь, а ведь дождь бывает разный.

Как это обычно бывает, я мужественно преодолел это бессмысленное, навязанное желание переделать эксперимент и забыл о нем. Но лето в этом году в московском регионе как то слишком часто располагало к размышлениям на тему «так все-таки убегать ли мне от этого дождя, или идти спокойно». В результате решил написать небольшой проект и поисследовать, то, что было интересно, с помощью компьютерного моделирования. Как оказалось, в Московском регионе тема остается актуальной и сейчас в декабре.

Со следующего раздела приводится описание того, что получилось, но здесь нужно сказать несколько слов, про историю вопроса. При подготовке статьи выяснилось, что вопрос «идти или бежать под дождем» не дает покоя множеству гиков по всему свету уже довольно давно. Видимо, первым поднял волну, известный популяризатор науки Яков Исидович Перельман, в его книге «Занимательная механика» (видел только 4е издание 1937г. но возможна задача была и в более ранних начиная с 1930 г.) В девятой главе «Треняе и сопротивление среды~~» (да тренЯе, начало двадцатого век все- таки)~~ последний раздел называется «Когда дождь промочит сильнее?», но фактически задача звучит так «В каком случае вы больше промочите свою шляпу?». Тут есть разница - в книге речь идет только о той составляющей дождя, которую шляпа воспринимает сверху, о столкновении с дождем в вертикальной плоскости речи не идет. К тому же в задаче эксперимент проводится при одинаковом времени, пребывания под дождем, в то время как нас интересует одинаковое расстояние. Нет никаких сомнений в справедливости, приведенного в книге решения, но само название раздела, и самостоятельные выводы читателей могли привести к неправильным выводам и появлению стереотипа.

После Перельмана были статьи в научно-популярных журналах древних (<http://kvant.mccme.ru/1989/03/kak_ubegat_ot_dozhdya.htm>) и не очень (<https://inf.1sept.ru/articlef.php?ID=200700503>), потом видосы вот (<https://www.youtube.com/watch?v=Nu-9ag4acCI>), и вот (<https://www.youtube.com/watch?v=1ic0RpHan9s>) перевод даже есть на хабре (<https://habr.com/ru/company/vertdider/blog/371951/>). Еще одна статья, мимо которой трудно пройти – это статья 2012 года (<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0143-0807/33/5/1321>) итальянского физика Франко Боччи в European Journal of Physics, саму статью, вряд ли читало большое количество людей, но про нее очень много писали в СМИ, например вот (<https://www.gazeta.ru/science/2012/07/24_a_4691625.shtml> ) интересно написано, на мой взгляд. Есть и другие исследования разной степени серьезности. Оказалось, что история этой проблемы, возможно не менее интересна, чем сама проблема, и, возможно может быть предметом отдельной статьи.

И последнее – эта статья в первую очередь про занимательное компьютерное моделирование, все остальные сферы знаний затрагиваются постольку, поскольку они необходимы для описания предметной области.

## Моделирование

### Ограничения и допущения

Суть моделирования – это целенаправленное упрощение и абстрагирование восприятия реальности (<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5>). Представленная в статье модель - не исключение. Далее в тексте могут быть указания, на то, что та или иная особенность, обусловленная спецификой задачи, физическими, когнитивными ограничениями, а также ограничениями связанные религиозными, расовыми, политическими, сексуальными и прочими предпочтениями автора, является допущением или ограничением (другими словами те вещи, которые было не только лень делать, но еще и лень объяснять, почему я их не сделал).

Примеры ограничений и допущений: Количество капель в кубике одна (ограничение на максимальную интенсивность), предполагается что человек во время ходьбы и бека не машет руками и ногами (площадь фронтальной и горизонтальной проекции всегда одинакова), вода поднятая с ботинок на спину не учитывается, ветра в эксперименте нет и пр.

### Пространство и человек

#### Пространство

Модель представлена двумя объектами пространство и человек.

Пространство – это прямоугольный параллелепипед, разбитый на кубики размером 1х1х1 см.

Ширина пространства равна ширине человека: в проведенном эксперименте не рассматриваются случаи с ветром, и с боковым ветром, поэтому обсчитывать пространство за пределами ширины человека нет никакого смысла.

Высота пространства больше высоты человека на один горизонтальный слой кубиков – то есть на один сантиметр, в этом слое начинают регистрироваться капли, которые в следующий момент времени упадут на человека, или дальше в пространство не занятое человеком.

Длина (протяженность) пространства – должна быть равна длине дистанции, но это очень неэкономично, так как для эксперимента нужно знать только о состоянии пространства над человеком, и о нескольких слоях перед ним. Поэтому в проекте пространство используется циклично, а его длина выбирается такой, чтобы к моменту, когда человек полностью его пройдет в первом вертикальном слое обновились все ячейки. Другими словами капля, которая появилась в слое, находящимся сразу за спиной человека должна иметь достаточно времени, чтобы упасть на землю, к тому моменту, когда человек вновь приблизится к этому слою лицом. Таким образом, при правильном подборе длины пространства на человека всегда будут капать свежие капли.

Нужно отметить, что при проведении эксперимента длина пространства устанавливается единожды, и далее не меняется, поэтому для начальной установки значения длинны, выбиралось такое соотношение параметров, чтобы во всех случаях длина была достаточная (максимальная скорость человека и минимальная скорость падения капель).

Пространство для эксперимента можно вообразить по разному, например как замкнутый коридор, но мне больше нравится представлять его прямоугольным пятном света, от фонаря, который светит с боку на человека, и которое движется вместе с человеком. Каждая капля, которая попадает в свет внутри пятна, регистрируется. Такой подход позволяет отделить понятие физического, бесконечного пространства, в котором под дождем бегает человек, от пространства эксперимента - воображаемой трехмерной сетки, состояние каждой ячейки которой проверяется в каждый момент времени эксперимента. В статье слово «пространство» используется во втором значении.

В программе пространство представлено трехмерным байтовым массивом. Индексы элемента в массиве соответствуют координатам ячейки в пространстве (протяженность, высота, ширина), сам элемент описывает состояние. Состояния может быть только два – в ячейке есть капля дождя или ячейка пустая.

Пространство также можно представить как набор горизонтальных слоев, сквозь которые падает дождь, и как набор вертикальных слоев с которыми, двигаясь, сталкивается человек. В программе, есть классы – обертки, отвечающие за эти представления.

#### Человек

Человек в проекте – это просто прямоугольный параллелепипед. Для эксперимента в первую очередь нам интересны его проекция на горизонтальную плоскость для подсчета капель, падающих сверху, и проекция на вертикальную плоскость, перпендикулярную направлению движения, для подсчета капель с которыми человек сталкивается, двигаясь вперед. Также используется координата, отвечающая за его положение в пространстве, и счетчики собранной воды спереди и сверху.

Для того, чтобы оценить площадь горизонтальной проекции погуглил, одна из первых ссылок была на какой-то нормативный акт, который использует МЧС (<http://base.garant.ru/12169057/5da741911cf9399494368b18de80fbe8/>). Там горизонтальная проекция человека представлена эллипсом с размерами осей 0,5 м (ширина человека в плечах) и 0,25 м (толщина человека). Похоже на правду, поэтому взял прямоугольник почти такой же площади (S эллипса=pi\*a\*b S = 3.14\*(50/2)\*(25/2) ~ 982 кв. см, прямоугольник 48 на 20 = 960 кв. см). Как было показано выше, эти данные используются, в том числе для определения ширины и протяженности пространства. Определения вертикальной проекции человека не нашел, поэтому для роста взял величину чуть меньше среднего - 160 см. Размерность человека легко меняется в проекте, но эксперимент проводился только на одном наборе параметров. Так как, этот вопрос показался мне не очень интересным – во первых во время дождя вряд ли на эти параметры можно как-то повлиять, а во вторых выяснение того, какое телосложение оптимально для промокания под дождем может показаться кому-то обидным. Отношу это к ограничениям и допущениям.

Скорость человека: за нижний предел взята скорость 2,196 км/ч взята (вот отсюда <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%BE%D0%B4%D1%8C%D0%B1%D0%B0_%D1%87%D0%B5%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D0%BA%D0%B0> ) видимо эти данные используются для целей протезирования, верхний предел - 43.9 км/ч - самая быстрая на данный момент зафиксированная скорость бега (<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%BE%D0%BB%D1%82,_%D0%A3%D1%81%D1%8D%D0%B9%D0%BD>).

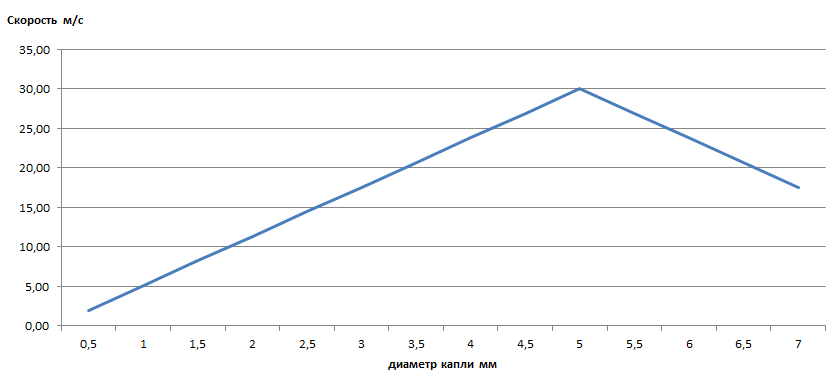
### Про дождь

Дождь в проекте это процесс, который происходит в пространстве, и который имеет свои характеристики: размер капли, скорость падения, интенсивность.

По данным Википедии (<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%BE%D0%B6%D0%B4%D1%8C#%D0%94%D0%BE%D0%B6%D0%B4%D0%B5%D0%B2%D1%8B%D0%B5_%D0%BA%D0%B0%D0%BF%D0%BB%D0%B8>) размер диаметра дождевой капли не может быть меньше 0.5 мм, так как это будет уже не дождь, а морось, и не больше 6-7 мм, при таких условиях капли распадаются на более мелкие.

В соответствии с той же статьей скорость падения капель варьируется от 2 до 6 м/с для мелких капель и от 9 до 30 м/с для капель с диаметром 5 мм. При размере от 5мм до 7мм скорость падения снижается из-за того, что такие крупные капли приобретают форму парашюта, и сопротивление воздуха растет. Скорость падения капель зависит не только от размера самой капли, но и от условий в которых она падает – предполагаю, что от плотности воздуха, наличия восходящих или нисходящих потоков, и пр.

В проекте установлена линейная зависимость скорости падения от длины диаметра: в диапазоне диаметров от 0.5 до 5 мм скорость линейно возрастает от 2м/с до 30 м/с (DropSize\*6.22 – 1.11), в диапазоне от 5 мм до 7 мм скорость снижается с той же интенсивностью ((10 - DropSize)\*6.22 – 1.11), за пределами диапазона 0.5 – 7 мм эксперимент не проводится.



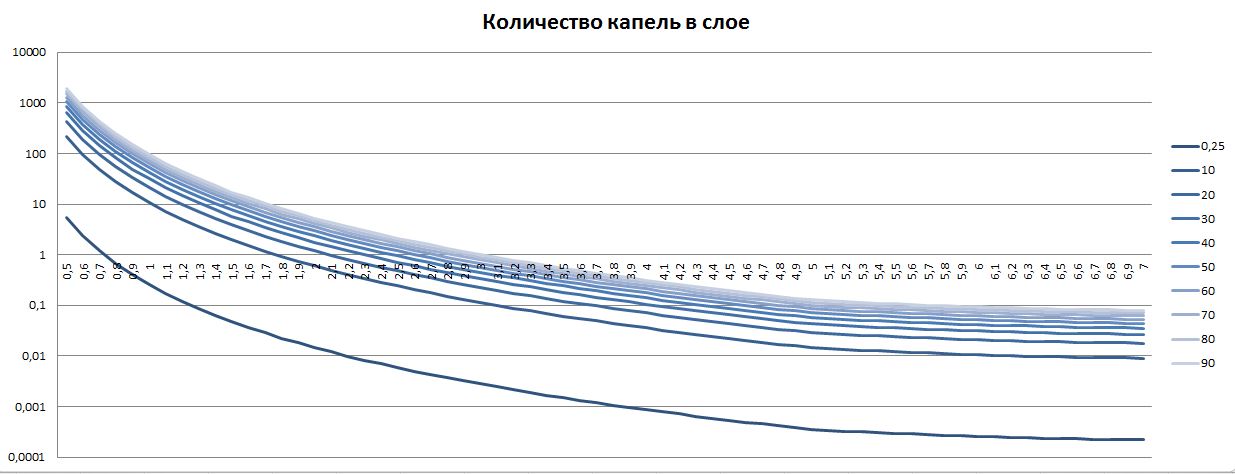
Линейная зависимость, используемая в эксперименте, не противоречит существующей картине мира, но она ограничена, и поэтому является допущением. Например, размеру капли 5мм в проекте соответствует скорость 30 м/с – в реальном мире такое вполне может быть (если верить Википедии), но в реальном мире также возможно, что капля диаметром 5мм будет падать гораздо медленнее - со скоростью 9 м/с. Если кто-то заинтересуется и решит сам поэкспериментировать, то можно изменить зависимость на любую другую, или даже поэкспериментировать с несколькими. В данном проекте эта фича будет использована в очень ограниченном объеме (из – за нехватки времени).

Интенсивность – еще одна интересная, и важная характеристика дождя. Интенсивность обычно указывается в миллиметрах в час. Один миллиметр в час означает, что за один час на горизонтальную поверхность площадью один квадратный метр выпадет слой воды толщиной один миллиметр. Не трудно посчитать, что объем этого слоя воды – один литр. То есть один мм/ч это то же самое что один литр на один квадратный метр за один час. Иногда в прогнозах погоды, когда хотят описать масштаб бедствия, указывают просто миллиметры - это уже посчитанная высота слоя воды, выпавшей за всю продолжительность дождя. В проекте, и далее в статье будет использоваться единица измерения - миллиметры в час.

В соответствии с Вики интенсивность дождя обычно составляет от 0,25 мм/ч (моросящий дождь) до 100 мм/ч (ливень) – эксперимент проводился в границах этих значений.

#### Про распределение капель в пространстве:

Есть один интересный момент, на котором хотелось бы ненадолго остановиться. На стадии проектирования планировалось, что верхний горизонтальный слой, будет заполняться каплями следующим образом: один раз вычисляется вероятность появления капли в ячейке, а затем, перебирая все ячейки слоя, рандомайзер, исходя из этой вероятности, будет помещать в ячейку каплю, или не помещать. Вероятность вычислялась как отношение необходимого количества капель в слое к общему количеству ячеек в слое. С учетом того, что пространство и так сокращенно до минимума такой подход представлялся вполне разумным. Однако перед началом эксперимента решил оценить количество капель на единицу пространства (ту самую веросятность появления) и вот что получилось: Ниже представлены графики количества капель в слое площадью один квадратный метр и толщиной один сантиметр, в зависимости от размера капли, каждый график соответствует своей интенсивности:



По горизонтальной оси – размер капли, по вертикальной оси – количество капель. Вертикальная ось – логарифмическая, так как разброс количества капель очень большой. Такой большой разброс объясняется тем, что объем капли пропорционален третьей степени от ее линейных размеров (диаметра), плюс с увеличением размера капли увеличивается скорость ее падения. Соответственно при небольшом изменении диаметра капли количество капель в объеме меняется очень сильно (например, для интенсивности дождя 80 мм/ч, при диаметре капли 0.8 мм требуется около 215 капель на слой, а при увеличении диаметра капли в два раза – до 1.6 мм, всего 12 капель на слой).

Теперь, что касается оптимизации: как видно из графиков даже при минимальном объеме капли и максимальной интенсивности количество капель на 10 тысяч ячеек – не превышает 2 х тысяч, в большинстве случаев количество капель менее 100, а при размере диаметра капли более 3мм количество капель на слой меньше одной. Соответственно перебирать каждую ячейку слоя, чтобы в конечном итоге в нем оказалась только одна капля не экономично. Более экономичный вариант – вычислить количество капель в слое, а затем случайным образом разбросать их по слою. Единственное усложнение - это случай, когда выбранная ячейка оказывается уже заполненной (в этой ситуации красиво смотрится рекурсия). Если к этому всему добавить запоминание заполненных ячеек, для последующей очистки слоев, то можно получить значительную экономию по CPU, при незначительном увеличении использования RAM.

### Процесс эмулирования дождя

Процесс моделирование происходит в одном главном цикле. Каждая итерация этого цикла соответствует минимальному интервалу времени (тик). Каждый тик состояние системы обновляется и фиксируется. Продолжительность тика соответствует продолжительности пролета капли дождя через один слой пространства (в нашем случае 1см), поэтому один тик в программе может соответствовать различным интервалам времени в реальной жизни, в зависимости от входных параметров (а точнее от скорости падения капель). Ниже описаны действия, происходящие внутри каждой итерации:

Процесс дождя в проекте выглядит следующим образом: сначала верхний слой случайным образом заполняется каплями (см. раздел выше), пусть это будет слой номер n. В следующей итерации капли из n-го слоя проваливаются в ячейки слоя, расположенного прямо под ними - в слой номер n-1, верхний слой снова заполняется. Далее все происходит аналогично: в слой номер n-2 проваливаются капли слоя n-1, в слой n-1 капли n-ного, а n-ный снова заполняется случайным образом, и так далее. Когда капли, достигнут самого нижнего слоя, они никуда не проваливаются, а просто исчезают (скажем, падают на землю, и впитываются), и далее, после очистки, этот слой поднимается наверх и переиспользуется.

Перебор каждой ячейки пространства для того чтобы скопировать (опустить ниже) все капли, выполняющийся в каждой итерации довольно затратная операция. Для того чтобы оптимизировать этот процесс, в классе пространства есть указатель, этот указатель циклически перемещается по номерам горизонтальных слоев (каждую итерацию он инкрементируется на единицу). Номер слоя соответствующий указателю на данной итерации считается верхним. Технически изменяется указатель, но, как известно, движение относительно, и если привязать систему отсчета к указателю, то данный процесс можно представить себе как движение (вертикальное падение) стопки горизонтальных слоев мимо неподвижного указателя, на котором отражается номер того слоя, который в данный момент пролетает мимо него.

### Процесс эмулирования движения человека

В классе человека есть указатель, который циклически перемещается по вертикальным слоям, перпендикулярным направлению движения (фронтальные слои), этот указатель указывает на слой, расположенный перед самым его носом, и используется для определения пятна на верхнем слое, капли из которого падают на человека сверху.

В программе также есть переменная (число с плавающей точкой), которая отражает точное текущее положение человека (пройденное расстояние). Зная скорость падения капель, можно вычислить время соответствующее одному тику. Умножив продолжительность тика на скорость человека, получаем расстояние, проходимое человеком за один тик. Каждую итерацию пройденное расстояние инкрементируется на расстояние, проходимое за один тик. Если человек остается в том же слое - указатель на вертикальный слой не инкрементируется, счетчик воды собранной спереди никак не изменяется. Если человек переходит в следующий слой, указатель на вертикальный слой инкрементируется на единицу, а счетчик воды собранной спереди увеличивается на количество капель, находящихся в данный момент в вертикальном слое, на который указывает указатель. Если человек за один тик проходит несколько слоев, то счетчик увеличивается на количество капель находящихся во всех пройденных слоях, а указатель инкрементируется на число пройденных слоев.

Счетчик капель, упавших сверху обновляется каждый тик, без исключения. Как было указанно выше, расположение пятна, из которого капли попадут на человека, определяется указателем на фронтальный слой.

Собственно про модель, и про то, как она работает все сказано, далее предлагаю перейти к экспериментам.

# Эксперименты и выводы

## Цели и задачи

Перед экспериментом предлагаю определить и формализовать вопросы, ради которых все затевалось.

Первый, и самый главный вопрос – «Правда ли, что можно меньше промокнуть под дождем, если идти, а не бежать до укрытия?» Более формально – «Как влияет скорость человека на итоговый объем собранной воды при прочих равных условиях?»

Второй. Если на первый вопрос будет дан ответ «нет», но мы то знаем, что разрушителям легенд удалось воспроизвести ситуацию, когда бегущий человек промок сильнее пешехода, то возникает вопрос: Возможна ли ситуация, когда бегущий человек промокнет сильнее идущего и при каких условиях это возможно?

Третий. «Как влияет размер капель на итоговый объем собранной воды при прочих равных условиях?»

Четвертый. «С какой стороны человек соберет больше воды – сверху, или спереди? От чего зависит это соотношение?»

## Определение понятий

Для удобства описания необходимо определить несколько понятий, иначе будет легко запутаться. Итак: далее человека буду называть Катя, это немного сократит объем текста, и добавит в рассказ еще больше веселья, угара и легкомыслия. В эксперименте Кате нужно будет проходить или пробегать расстояние в 1 километр, одно прохождение дистанции от начала до конца будет называться **забег**.

Далее, для того, чтобы оценить влияние скорости на объем собранной воды Кате нужно при одних и тех же условиях сделать несколько забегов с разными скоростями. В нашем случае это будут скорость медленного прогулочного шага 2,2 км/ч, скорость быстрого бега 23,04 км/ч, и скорость самого быстрого бега, которую только способен развить человек 43,88 км/ч. Все три забега вместе буду называть **сетом**. То есть один сет – это три забега с разными скоростями, но при совершенно одинаковых параметрах дождя.

Далее, так как нас интересует влияние характера дождя, нужно попросить Катю пробежать несколько сетов при разных условиях. Модель предоставляет возможность влиять на две характеристики дождя – размер капли и интенсивность, для удобства их можно организовать иерархически, например, размер капли будет более низким звеном по отношению к интенсивности. Тогда Кате нужно будет пробежать несколько сетов с разным размером капель, но постоянной интенсивностью. Так как сет сетов не самое благозвучное название буду называть его **суперсетом**, хотя тоже не огонь. Ну и на самом верхнем уровне иерархии у нас будет интенсивность, которая включает несколько мегасетов при разной интенсивностью, этот сет суперсетов буду называть **серией**. Всего размеров капель будет четыре: почти минимальная (0.6 мм), максимальная (7 мм), соответствующая максимальной скорости 5 (мм) и «средняя» (1.4 мм). Последний размер примерно соответствует распределению капель 10 штук на один квадратный метр почти во всем диапазоне интенсивностей (10 – 100 мм/ч). Интенсивностей будет три 1, 50 и 100 миллиметров в час (минимальная, средняя, и максимальная). Для наглядности иерархия приведена в таблице ниже. Но, так как каждому забегу соответствует одна запись в базе, то в дальнейшем нам ничего не будет стоить перегруппировать и изменить иерархию по своему усмотрению.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **серии** | **суперсеты** | **сеты** | **забеги** | **интенсивность** | **размер капли** | **скорость человека** |
| серия | суперсет | сет | забег | 1 | 0,6 | 2 |
| забег | 1 | 0,6 | 23 |
| забег | 1 | 0,6 | 43 |
| сет | забег | 1 | 1,4 | 2 |
| забег | 1 | 1,4 | 23 |
| забег | 1 | 1,4 | 43 |
| сет | забег | 1 | 5 | 2 |
| забег | 1 | 5 | 23 |
| забег | 1 | 5 | 43 |
| сет | забег | 1 | 7 | 2 |
| забег | 1 | 7 | 23 |
| забег | 1 | 7 | 43 |
| суперсет | сет… | забег | 50 | 0,6 | 2 |
| сет… | забег | … | … | … |
| суперсет | сет… | забег | 100 | 0,6 | 2 |
| сет… | забег | … | … | … |

Во время проведения эксперимента будут сниматься следующие показатели:

для каждого забега:

- объем полученной воды;

- количество капель всего;

- количество (объем) капель сверху;

- количество (объем) капель спереди;

- средний прирост за один тик;

- средний прирост сверху за один тик;

- средний прирост за одно горизонтальное смещение (всего / только горизонтальные/ только фронтальные)

для каждого сета

- разница полученного объема на разных скоростях.

- другие показатели, которые придут в голову.

## Результаты и выводы

Итак, первый эксперимент прошел. Он состоял из одной серии, трех суперсетов, 12 сетов, и 36 забегов на дистанцию 1 км. Всего в базу было сделано 32 529 927 записей, время выполнения на моей чахлой машине чуть больше 2 часов. Ниже сводная таблица, уже после обработки результатов, в которой приведен общий объем полученной воды в каждом забеге, и параметры забегов.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **интенсивность** | **размер капли** | **скорость человека** | **общий объем** | **разница** |
| **мм/час** | **мм** | **км/час** | **млл** | **млл** |
| 1 | 0,6 | 2 | 125,1431065418 |  |
| 1 | 0,6 | 23 | 44,6440422268 | 80,499064315 |
| 1 | 0,6 | 43 | 28,3395910449 | 16,3044511819 |
| 1 | 1,4 | 2 | 71,9182102943 |  |
| 1 | 1,4 | 23 | 32,1976804518 | 39,7205298425 |
| 1 | 1,4 | 43 | 19,529811262 | 12,6678691898 |
| 1 | 5 | 2 | 51,8362787842 |  |
| 1 | 5 | 23 | 12,2391213796 | 39,5971574046 |
| 1 | 5 | 43 | 9,0320788791 | 3,2070425005 |
| 1 | 7 | 2 | 56,5722297095 |  |
| 1 | 7 | 23 | 16,7022773428 | 39,8699523667 |
| 1 | 7 | 43 | 10,4164740418 | 6,2858033011 |
| 50 | 0,6 | 2 | 6257,5639477623 |  |
| 50 | 0,6 | 23 | 2231,2466650499 | 4026,3172827124 |
| 50 | 0,6 | 43 | 1417,5806645838 | 813,6660004661 |
| 50 | 1,4 | 2 | 3591,841624443 |  |
| 50 | 1,4 | 23 | 1613,6555045715 | 1978,1861198716 |
| 50 | 1,4 | 43 | 983,9013455979 | 629,7541589736 |
| 50 | 5 | 2 | 2519,6882078729 |  |
| 50 | 5 | 23 | 559,4652917268 | 1960,2229161461 |
| 50 | 5 | 43 | 457,1671809443 | 102,2981107825 |
| 50 | 7 | 2 | 2789,1007218693 |  |
| 50 | 7 | 23 | 795,0643203938 | 1994,0364014755 |
| 50 | 7 | 43 | 723,0469740017 | 72,0173463921 |
| 100 | 0,6 | 2 | 12514,3383630252 |  |
| 100 | 0,6 | 23 | 4462,3104517083 | 8052,0279113169 |
| 100 | 0,6 | 43 | 2835,1820259799 | 1627,1284257284 |
| 100 | 1,4 | 2 | 7183,1128571351 |  |
| 100 | 1,4 | 23 | 3228,2822555502 | 3954,8306015849 |
| 100 | 1,4 | 43 | 1968,561297857 | 1259,7209576932 |
| 100 | 5 | 2 | 5084,6022599881 |  |
| 100 | 5 | 23 | 1127,8972124857 | 3956,7050475025 |
| 100 | 5 | 43 | 925,5917355639 | 202,3054769218 |
| 100 | 7 | 2 | 5608,7324883437 |  |
| 100 | 7 | 23 | 1660,1704489993 | 3948,5620393443 |
| 100 | 7 | 43 | 1428,8528875204 | 231,3175614789 |

В последнем столбце приведена разница собранной воды от забега к забегу в каждом сете. Напомню, что в одном сете забеги отличаются только скоростью прохождения дистанции. Как видно в последнем столбце нет ни одного отрицательного числа, соответственно ответ на первый вопрос: «Как влияет скорость человека на итоговый объем собранной воды при прочих равных условиях?» Ответ: Итоговый объем собранной воды всегда меньше при большей скорости движения человека. Проведенный эксперимент наглядно это демонстрирует.

Тут, казалось бы, должен быть очевидный ответ на второй вопрос «Возможна ли ситуация, когда бегущий человек промокнет сильнее идущего и при каких условиях это возможно?» - нет, не возможно, и разрушители что-то накосячили. Но давайте посмотрим на третий сет:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 5 | 2 | 51,8362787842 |  |
| 1 | 5 | 23 | 12,2391213796 | 39,5971574046 |
| 1 | 5 | 43 | 9,0320788791 | 3,2070425005 |

Разница собранной воды при быстром беге и очень быстром беге (отличие 20 км/ч) на дистанции 1 километр, дало очень небольшое преимущество 3.2 мл в абсолютном выражении и ~ 26% в относительном. Для справки, распределение капель в пространстве при такой интенсивности и при таком диаметре очень небольшая: вероятность появления капли в слое равна 0,0005841873 или 1 капля на 1712 слоев, или 1 капля на 7,06 кубических метров. Так как появление капли в том или ином месте – это случайный процесс, и если сократить разницу в скоростях, и дистанцию, то результаты станут более случайными, в этом случае возможно всякое, в том числе более сильное промокание на более низкой скорости см. таблицу ниже.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **интенсивность** | **размер капли** | **скорость человека** | **общий объем** |
| **мм/час** | **мм** | **км/час** | **мл** |
| 10 | 7 | 23 | 13,11 |
| 10 | 7 | 23 | 14,01 |
| 10 | 7 | 23 | 14,19 |
| 10 | 7 | 23 | 15,80 |
| 10 | 7 | 23 | 15,98 |
| 10 | 7 | 23 | 17,42 |
| 10 | 7 | 23 | 17,42 |
| 10 | 7 | 23 | 17,60 |
| 10 | 7 | 23 | 18,32 |
| 10 | 7 | 23 | 19,76 |
| 10 | 7 | 43 | 11,31 |
| 10 | 7 | 43 | 11,85 |
| 10 | 7 | 43 | 12,93 |
| 10 | 7 | 43 | 13,47 |
| 10 | 7 | 43 | 13,83 |
| 10 | 7 | 43 | 14,19 |
| 10 | 7 | 43 | 14,37 |
| 10 | 7 | 43 | 14,91 |
| 10 | 7 | 43 | 16,52 |
| 10 | 7 | 43 | 17,24 |

Эта таблица отражает результат дополнительных 20 забегов на короткую дистанцию 100 м, с небольшой интенсивностью и крупными каплями дождя. Как видно диапазон значений собранной воды на скорости 23 км/ч частично пересекается с диапазоном значений собранной воды на скорости 43 км/ч. Это означает, что ответ на вопрос о том, можно ли собрать бальше воды на большей скорости будет звучать так «Да возможно, при небольшой разнице скоростей и маленькой выборке». Если перефразировать на нормальный язык: если идет несильный дождь с крупными и редкими каплями, и идти до укрытия не очень далеко, то итоговое промокание скорее будет зависеть от вашей удачи, нежели от вашей скорости.

Третий вопрос, «Как влияет размер капель на итоговый объем собранной воды при прочих равных условиях?».

Давайте перегруппируем таблицу, чтобы в третьем столбе были размеры капель, а во втором Катина скорость:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **интенсивность** | **скорость человека** | **размер капли** | **общий объем** | **разница** |
| **мм/час** | **км/час** | **мм** | **млл** | **млл** |
| 1 | 2 | 0,6 | 125,1431065418 |  |
| 1 | 2 | 1,4 | 71,9182102943 | 53,2248962475 |
| 1 | 2 | 5,0 | 51,8362787842 | 20,0819315101 |
| 1 | 2 | 7,0 | 56,5722297095 | -4,7359509253 |
| 1 | 23 | 0,6 | 44,6440422268 |  |
| 1 | 23 | 1,4 | 32,1976804518 | 12,446361775 |
| 1 | 23 | 5,0 | 12,2391213796 | 19,95855907 |
| 1 | 23 | 7,0 | 16,7022773428 | -4,4631559632 |
| 1 | 43 | 0,6 | 28,3395910449 |  |
| 1 | 43 | 1,4 | 19,529811262 | 8,809779783 |
| 1 | 43 | 5,0 | 9,0320788791 | 10,4977323829 |
| 1 | 43 | 7,0 | 10,4164740418 | -1,3843951627 |
| 50 | 2 | 0,6 | 6257,5639477623 |  |
| 50 | 2 | 1,4 | 3591,841624443 | 2665,7223233193 |
| 50 | 2 | 5,0 | 2519,6882078729 | 1072,1534165701 |
| 50 | 2 | 7,0 | 2789,1007218693 | -269,412514 |
| 50 | 23 | 0,6 | 2231,2466650499 |  |
| 50 | 23 | 1,4 | 1613,6555045715 | 617,5911604784 |
| 50 | 23 | 5,0 | 559,4652917268 | 1054,190213 |
| 50 | 23 | 7,0 | 795,0643203938 | -235,599028667 |
| 50 | 43 | 0,6 | 1417,5806645838 |  |
| 50 | 43 | 1,4 | 983,9013455979 | 433,679319 |
| 50 | 43 | 5,0 | 457,1671809443 | 526,7341646536 |
| 50 | 43 | 7,0 | 723,0469740017 | -265,8797930574 |
| 100 | 2 | 0,6 | 12514,3383630252 |  |
| 100 | 2 | 1,4 | 7183,1128571351 | 5331,2255058901 |
| 100 | 2 | 5,0 | 5084,6022599881 | 2098,510597147 |
| 100 | 2 | 7,0 | 5608,7324883437 | -524,1302284 |
| 100 | 23 | 0,6 | 4462,3104517083 |  |
| 100 | 23 | 1,4 | 3228,2822555502 | 53,2248962475 |
| 100 | 23 | 5,0 | 1127,8972124857 | 20,08193151 |
| 100 | 23 | 7,0 | 1660,1704489993 | -4,7359509253 |
| 100 | 43 | 0,6 | 2835,1820259799 |  |
| 100 | 43 | 1,4 | 1968,561297857 | 53,22489625 |
| 100 | 43 | 5,0 | 925,5917355639 | 20,0819315101 |
| 100 | 43 | 7,0 | 1428,8528875204 | -4,7359509253 |

Как видно в диапазоне от 0.6 до 5 мм чем меньше объем капли, тем больше общий полученный объем воды, но в диапазоне 5 – 7 мм наоборот (с каплей размером 7 мм воды собирается больше, чем с каплей 5мм). Для поиска зависимостей в таблицу ниже добавлены столбцы с количеством капель в слое, скоростью падения капель, и количеством собранных капель всего за забег.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **интенсивность мм/час** | **скорость человека км/час** | **размер капли мм** | **общий объем мл** | **разница мл** | **капель в слое шт.** | **скорость пад. капель км/час** | **кол.собранных капель шт.** |
| 1 | 2 | 0,6 | 125,14 |  | 3,869755 | 9,43 | 1106508 |
| 1 | 2 | 1,4 | 71,92 | 53,22 | 0,105151 | 27,32 | 50056 |
| 1 | 2 | 5,0 | 51,84 | 20,08 | 0,000584 | 107,96 | 792 |
| 1 | 2 | 7,0 | 56,57 | -4,74 | 0,000364 | 63,18 | 315 |
| 1 | 23 | 0,6 | 44,64 |  | 3,869755 | 9,43 | 394740 |
| 1 | 23 | 1,4 | 32,20 | 12,45 | 0,105151 | 27,32 | 22410 |
| 1 | 23 | 5,0 | 12,24 | 19,96 | 0,000584 | 107,96 | 187 |
| 1 | 23 | 7,0 | 16,70 | -4,46 | 0,000364 | 63,18 | 93 |
| 1 | 43 | 0,6 | 28,34 |  | 3,869755 | 9,43 | 250577 |
| 1 | 43 | 1,4 | 19,53 | 8,81 | 0,105151 | 27,32 | 13593 |
| 1 | 43 | 5,0 | 9,03 | 10,50 | 0,000584 | 107,96 | 138 |
| 1 | 43 | 7,0 | 10,42 | -1,38 | 0,000364 | 63,18 | 58 |
| 50 | 2 | 0,6 | 6257,56 |  | 193,487774 | 9,43 | 55329013 |
| 50 | 2 | 1,4 | 3591,84 | 2665,72 | 5,257541 | 27,32 | 2499968 |
| 50 | 2 | 5,0 | 2519,69 | 1072,15 | 0,029209 | 107,96 | 38498 |
| 50 | 2 | 7,0 | 2789,10 | -269,41 | 0,018190 | 63,18 | 15530 |
| 50 | 23 | 0,6 | 2231,25 |  | 193,487774 | 9,43 | 19728552 |
| 50 | 23 | 1,4 | 1613,66 | 617,59 | 5,257541 | 27,32 | 1123125 |
| 50 | 23 | 5,0 | 559,47 | 1054,19 | 0,029209 | 107,96 | 8548 |
| 50 | 23 | 7,0 | 795,06 | -235,60 | 0,018190 | 63,18 | 4427 |
| 50 | 43 | 0,6 | 1417,58 |  | 193,487774 | 9,43 | 12534165 |
| 50 | 43 | 1,4 | 983,90 | 433,68 | 5,257541 | 27,32 | 684808 |
| 50 | 43 | 5,0 | 457,17 | 526,73 | 0,029209 | 107,96 | 6985 |
| 50 | 43 | 7,0 | 723,05 | -265,88 | 0,018190 | 63,18 | 4026 |
| 100 | 2 | 0,6 | 12514,34 |  | 386,975547 | 9,43 | 110651045 |
| 100 | 2 | 1,4 | 7183,11 | 5331,23 | 10,515082 | 27,32 | 4999539 |
| 100 | 2 | 5,0 | 5084,60 | 2098,51 | 0,058419 | 107,96 | 77687 |
| 100 | 2 | 7,0 | 5608,73 | -524,13 | 0,036380 | 63,18 | 31230 |
| 100 | 23 | 0,6 | 4462,31 |  | 386,975547 | 9,43 | 39455487 |
| 100 | 23 | 1,4 | 3228,28 | 53,22 | 10,515082 | 27,32 | 2246926 |
| 100 | 23 | 5,0 | 1127,90 | 20,08 | 0,058419 | 107,96 | 17233 |
| 100 | 23 | 7,0 | 1660,17 | -4,74 | 0,036380 | 63,18 | 9244 |
| 100 | 43 | 0,6 | 2835,18 |  | 386,975547 | 9,43 | 25068513 |
| 100 | 43 | 1,4 | 1968,56 | 53,22 | 10,515082 | 27,32 | 1370144 |
| 100 | 43 | 5,0 | 925,59 | 20,08 | 0,058419 | 107,96 | 14142 |
| 100 | 43 | 7,0 | 1428,85 | -4,74 | 0,036380 | 63,18 | 7956 |

Как видно, объем собранной воды напрямую коррелирует только со скоростью падения капель – чем меньше скорость, тем больше объем собранной воды. Поскольку скорость является производной величиной, зависящей только от размера капли (в нашей модели), то ответ на третий вопрос может звучать так: При размере капель соответствующих минимальной скорости падения объем собранной воды будет максимальным, и наоборот, при размере капель соответствующих максимальной скорости общий собранный объем будет минимальным. Однако, возможно размер капли вообще не имеет никакого влияния, этот вопрос требует дальнейшей проработки (но пока что за рамками данной статьи), отчасти дополнительную информацию можно найти в последнем разделе. Какие-то практические выводы и рекомендации тут также сделать сложно.

Четвертый вопрос: «С какой стороны человек соберет больше воды – сверху, или спереди? От чего зависит это соотношение?».

В таблице ниже приведена наша изначальная группировка, опущен общий объем, но добавлены количества капель сверху, спереди, их соотношение и их общее количество.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **интенсивность мм/час** | **размер капли мм** | **скорость человека км/час** | **всего сверху** | **всего спереди** | **всего** | **сверху/ спереди** | **сверху %** | **спереди %** |
| 1 | 0,6 | 2 | 385832 | 720676 | 1106508 | 0,54 | 34,87% | 65,13% |
| 1 | 0,6 | 23 | 37152 | 357588 | 394740 | 0,10 | 9,41% | 90,59% |
| 1 | 0,6 | 43 | 19447 | 231130 | 250577 | 0,08 | 7,76% | 92,24% |
| 1 | 1,4 | 2 | 30333 | 19723 | 50056 | 1,54 | 60,60% | 39,40% |
| 1 | 1,4 | 23 | 2839 | 19571 | 22410 | 0,15 | 12,67% | 87,33% |
| 1 | 1,4 | 43 | 1536 | 12057 | 13593 | 0,13 | 11,30% | 88,70% |
| 1 | 5,0 | 2 | 674 | 118 | 792 | 5,71 | 85,10% | 14,90% |
| 1 | 5,0 | 23 | 71 | 116 | 187 | 0,61 | 37,97% | 62,03% |
| 1 | 5,0 | 43 | 25 | 113 | 138 | 0,22 | 18,12% | 81,88% |
| 1 | 7,0 | 2 | 251 | 64 | 315 | 3,92 | 79,68% | 20,32% |
| 1 | 7,0 | 23 | 23 | 70 | 93 | 0,33 | 24,73% | 75,27% |
| 1 | 7,0 | 43 | 13 | 45 | 58 | 0,29 | 22,41% | 77,59% |
| 50 | 0,6 | 2 | 19321567 | 36007446 | 55329013 | 0,54 | 34,92% | 65,08% |
| 50 | 0,6 | 23 | 1842049 | 17886503 | 19728552 | 0,10 | 9,34% | 90,66% |
| 50 | 0,6 | 43 | 967574 | 11566591 | 12534165 | 0,08 | 7,72% | 92,28% |
| 50 | 1,4 | 2 | 1521926 | 978042 | 2499968 | 1,56 | 60,88% | 39,12% |
| 50 | 1,4 | 23 | 145278 | 977847 | 1123125 | 0,15 | 12,94% | 87,06% |
| 50 | 1,4 | 43 | 76201 | 608607 | 684808 | 0,13 | 11,13% | 88,87% |
| 50 | 5,0 | 2 | 33111 | 5387 | 38498 | 6,15 | 86,01% | 13,99% |
| 50 | 5,0 | 23 | 3127 | 5421 | 8548 | 0,58 | 36,58% | 63,42% |
| 50 | 5,0 | 43 | 1618 | 5367 | 6985 | 0,30 | 23,16% | 76,84% |
| 50 | 7,0 | 2 | 12233 | 3297 | 15530 | 3,71 | 78,77% | 21,23% |
| 50 | 7,0 | 23 | 1144 | 3283 | 4427 | 0,35 | 25,84% | 74,16% |
| 50 | 7,0 | 43 | 587 | 3439 | 4026 | 0,17 | 14,58% | 85,42% |
| 100 | 0,6 | 2 | 38660190 | 71990855 | 110651045 | 0,54 | 34,94% | 65,06% |
| 100 | 0,6 | 23 | 3683198 | 35772289 | 39455487 | 0,10 | 9,34% | 90,66% |
| 100 | 0,6 | 43 | 1933764 | 23134749 | 25068513 | 0,08 | 7,71% | 92,29% |
| 100 | 1,4 | 2 | 3043783 | 1955756 | 4999539 | 1,56 | 60,88% | 39,12% |
| 100 | 1,4 | 23 | 289828 | 1957098 | 2246926 | 0,15 | 12,90% | 87,10% |
| 100 | 1,4 | 43 | 152395 | 1217749 | 1370144 | 0,13 | 11,12% | 88,88% |
| 100 | 5,0 | 2 | 66686 | 11001 | 77687 | 6,06 | 85,84% | 14,16% |
| 100 | 5,0 | 23 | 6412 | 10821 | 17233 | 0,59 | 37,21% | 62,79% |
| 100 | 5,0 | 43 | 3322 | 10820 | 14142 | 0,31 | 23,49% | 76,51% |
| 100 | 7,0 | 2 | 24489 | 6741 | 31230 | 3,63 | 78,41% | 21,59% |
| 100 | 7,0 | 23 | 2405 | 6839 | 9244 | 0,35 | 26,02% | 73,98% |
| 100 | 7,0 | 43 | 1291 | 6665 | 7956 | 0,19 | 16,23% | 83,77% |

При анализе таблицы можно сделать несколько выводов, начну с наиболее очевидных:

1) Соотношение сильно зависит от скорости человека – чем медленнее движется человек, тем больше капель падает сверху (в каждом сете чем выше скорость тем меньше капель собранных сверху).

2) Если идти очень медленно, то независимо от того, какой идет дождь больше половины капель будет собранно сверху (абсолютно во всех сетах при скорости 2 км/ч количество капель полученных сверху больше 50 %).

3) Соотношение практически не зависит от интенсивности дождя, если сравнить соответствующие соотношения в суперсетах, то видно, что они отличаются совсем незначительно, или не отличаются вообще (таблица ниже).

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **размер капли мм** | **скорость человека км/час** | **соотношение сверху/ спереди** | | |
| **интенсивности** | | |
| 1 | 50 | 100 |
| 0,6 | 2 | 0,54 | 0,54 | 0,54 |
| 0,6 | 23 | 0,10 | 0,10 | 0,10 |
| 0,6 | 43 | 0,08 | 0,08 | 0,08 |
| 1,4 | 2 | 1,54 | 1,56 | 1,56 |
| 1,4 | 23 | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| 1,4 | 43 | 0,13 | 0,13 | 0,13 |
| 5,0 | 2 | 5,71 | 6,15 | 6,06 |
| 5,0 | 23 | 0,61 | 0,58 | 0,59 |
| 5,0 | 43 | 0,22 | 0,30 | 0,31 |
| 7,0 | 2 | 3,92 | 3,71 | 3,63 |
| 7,0 | 23 | 0,33 | 0,35 | 0,35 |
| 7,0 | 43 | 0,29 | 0,17 | 0,19 |

4) Соотношение сильно зависит не только от скорости Кати, но и от скорости падения капель. Если посмотреть на дельты значений соотношений с максимальной и минимальной скоростью Кати, то получиться что максимальный разброс соответствует размеру капли с максимальной скоростью падения (таблица ниже):

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **размер капли мм** | **скорость человека км/час** | **соотношение сверху/ спереди** | | | **дельты** | | |
| **интенсивность** | | | **интенсивность** | | |
| 1 | 50 | 100 | 1 | 50 | 100 |
| 0,6 | 2 | 0,54 | 0,54 | 0,54 |  |  |  |
| 0,6 | 43 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,45 | 0,45 | 0,45 |
| 1,4 | 2 | 1,54 | 1,56 | 1,56 |  |  |  |
| 1,4 | 43 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 1,41 | 1,43 | 1,43 |
| 5,0 | 2 | 5,71 | 6,15 | 6,06 |  |  |  |
| 5,0 | 43 | 0,22 | 0,30 | 0,31 | 5,49 | 5,84 | 5,75 |
| 7,0 | 2 | 3,92 | 3,71 | 3,63 |  |  |  |
| 7,0 | 43 | 0,29 | 0,17 | 0,19 | 3,63 | 3,54 | 3,44 |

Это означает, что чем больше скорость падения капель, тем сильнее Катя может повлиять на итоговый объем собранной воды. Другими словами если вас застал ливень, который хлещет крупными каплями, то чем быстрее вы добежите до укрытия, тем меньше вы промокните. И наоборот, если на улице морось, множество мелких, висящих в воздухе капель, то бежать особого смысла нет, это не сильно повлияет на итоговый результат.

Таким образом, ответ на четвертый вопрос «С какой стороны человек соберет больше воды – сверху, или спереди? От чего зависит это соотношение?» звучит так: Человек, идя под дождем, может собрать больше воды как сверху, так и спереди, это соотношение, прежде всего, зависит от его скорости, но также большое влияние имеет скорость падения капель. Чем больше скорость человека, тем меньше капель упадет на него сверху.

## Бонус для тех, кто дочитал

В конце хотел поделиться еще одним наблюдением. Давайте еще раз перегруппируем таблицу следующим образом:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **интенсивность мм/час** | **скорость человека км/час** | **размер капли мм** | **скорость пад. капель км/час** | **всего мл** |
| 1 | 2 | 0,6 | 9,4 | 125,14 |
| 1 | 2 | 1,4 | 27,3 | 71,92 |
| 1 | 2 | 5,0 | 108,0 | 51,84 |
| 1 | 2 | 7,0 | 63,2 | 56,57 |
| 1 | 23 | 0,6 | 9,4 | 44,64 |
| 1 | 23 | 1,4 | 27,3 | 32,20 |
| 1 | 23 | 5,0 | 108,0 | 12,24 |
| 1 | 23 | 7,0 | 63,2 | 16,70 |
| 1 | 43 | 0,6 | 9,4 | 28,34 |
| 1 | 43 | 1,4 | 27,3 | 19,53 |
| 1 | 43 | 5,0 | 108,0 | 9,03 |
| 1 | 43 | 7,0 | 63,2 | 10,42 |
| 50 | 2 | 0,6 | 9,4 | 6257,56 |
| 50 | 2 | 1,4 | 27,3 | 3591,84 |
| 50 | 2 | 5,0 | 108,0 | 2519,69 |
| 50 | 2 | 7,0 | 63,2 | 2789,10 |
| 50 | 23 | 0,6 | 9,4 | 2231,25 |
| 50 | 23 | 1,4 | 27,3 | 1613,66 |
| 50 | 23 | 5,0 | 108,0 | 559,47 |
| 50 | 23 | 7,0 | 63,2 | 795,06 |
| 50 | 43 | 0,6 | 9,4 | 1417,58 |
| 50 | 43 | 1,4 | 27,3 | 983,90 |
| 50 | 43 | 5,0 | 108,0 | 457,17 |
| 50 | 43 | 7,0 | 63,2 | 723,05 |
| 100 | 2 | 0,6 | 9,4 | 12514,34 |
| 100 | 2 | 1,4 | 27,3 | 7183,11 |
| 100 | 2 | 5,0 | 108,0 | 5084,60 |
| 100 | 2 | 7,0 | 63,2 | 5608,73 |
| 100 | 23 | 0,6 | 9,4 | 4462,31 |
| 100 | 23 | 1,4 | 27,3 | 3228,28 |
| 100 | 23 | 5,0 | 108,0 | 1127,90 |
| 100 | 23 | 7,0 | 63,2 | 1660,17 |
| 100 | 43 | 0,6 | 9,4 | 2835,18 |
| 100 | 43 | 1,4 | 27,3 | 1968,56 |
| 100 | 43 | 5,0 | 108,0 | 925,59 |
| 100 | 43 | 7,0 | 63,2 | 1428,85 |

Как видно из таблицы от скорости падения капель зависит итоговое намокание, чем больше скорость падения капель, тем меньше человек соберет капель, при той же интенсивности дождя и скорости движения. Например, на дистанции 1 км, интенсивности дождя 50 мм/час, и скорости 23 км/час (резвый бег), если скорость падения будет 9.4 км/ч человек соберет на себя 2,31 литра воды, но если, капли будут падать со скоростью 108,0 км/ч, то человек соберет всего 0.56 литра. В данном случае сравнение не до конца корректное, так как размер капель при разных скоростях неодинаковый, но скорее всего размер капель не имеет большого значения – об этом косвенно можно судить по тому, что в забегах с размером капли 7 мм собранный объем следует за скоростью.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| интенсивность мм/час | скорость км/час | размер капли мм | скорость пад. капель км/час | всего мл |
| 50 | 23 | 0,6 | 9,4 | 2231,25 |
| 50 | 23 | 5,0 | 108,0 | 559,47 |
| 50 | 23 | 7,0 | 63,2 | 795,06 |

Нужно сказать, что выводы из этого наблюдения вряд ли имеют какую-либо практическую ценность, потому что здесь результаты сравниваются для строго определенных интенсивностей. В реальной мире, обычно увеличение размера капель и скорости их падения говорит об увеличении интенсивности. Другими словами, если вас во время прогулки застанет ливень с крупными и быстрыми каплями, очень вероятно, что он промочит вас гораздо сильнее, чем под обычный затяжной дождь с мелкими и медленными каплями потому, что интенсивность ливня будет гораздо сильнее.

TODO доп эксперимент

На этом пожалуй все, как говорит доктор Скотт, палеонтолог, изучайте природу и делайте собственные открытия, ребята. :)

P.S. В тексте, модели, результатах, поставленных вопросах и ответах на них, и в любых других местах могут быть ошибки, поэтому выкладываю проект в открытый доступ, если кто-то захочет проверить, повторить, дополнить, опровергнуть, ткнуть носом, и пр – милости прошу.

P.P.S Эта статья, является продолжением, теперь уже цикла статей ☺ про занимательное компьютерное моделирование, первая статья вот <https://habr.com/ru/post/341730/>

.

Эксперименты:

Каждый эксперимент включает расчет показателей на фиксированном наборе скоростей человека (медленная, средняя, и максимальная). Во время выполнения каждого набора параметры среды (интенсивность и размер капли) остаются неизменными. Другими словами минимальный показательный набор действий, для того чтобы собрать

Другими словами мы будем гонять нашего человека по созданному пространству, давайте назовем его Катя. Дистанция является константой, то есть Кате каждый раз нужно будет преодолевать одно и то же расстояние. В каждом пробеге мы будем учитывать количество воды осевшей на Кате во время прохождения дистанции, и некоторые другие показатели (перечислены ниже). Но чтобы сделать выводы одного забега недостаточно, поэтому при сохранении всех параметров среды мы попросим Катю пробежать еще раз чуть быстрее, а потом еще раз еще быстрее, а потом вообще во всю прыть. В итоге можно будет сравнить результаты пробегов и сделать вывод как нужно бежать под дождем, чтобы меньше промокнуть, такой набор забегов буду называть сетом. В одном сете параметры среды вообще не меняются, меняется только скорость прохождения дистанции от забега к забегу. Зачем нужны сеты? Проведение одного сета даст некоторую информацию, но она будет не полной, так как дождь бывает разный, например моросящий дождь, или проливной ливень, и нужно проверить – во всех ли ситуациях нужно вести себя одинаково. За это отвечают два других параметра: размер капли и интенсивность дождя. В нашей модели они не связаны, поэтому мы можем моделировать ситуации «редкие крупные капли» когда интенсивность (мм/час) небольшая но капли крупные, или «стена моросящего дождя» (когда ). Размер капли сильно влияет на скорость падения, поэтому даже небольшое изменение размера капли сильно влияет на количество капель в объеме пространства для эксперимента.

Показатели:

забег

- объем полученной воды;

- количество капель всего;

- количество (объем) капель сверху всего;

- количество (объем) капель спереди всего;

- средний прирост за один тик;

- средний прирост сверху за один тик ;

- средний прирос за одно горизонтальное смещение (всего / только горизонтальные/ только фронтальные)

сет

- разница полученного объема на разных скоростях.

- другие разницы

наборы сетов

1. Интенсивность: При постоянном размере капли проводится несколько сетов с различной интенсивностью. Цель – нужно ли менять стратегию при разной интенсивности.
2. Размер капли: При постоянной интенсивности проводится несколько сетов с различным размером капель. Цель - нужно ли менять стратегию при разном размере капель.
3. Размер капли: При постоянной интенсивности и скорости проводится несколько сетов с различным размером капель. Цель выяснить влияние крупноты капель (характера дождя) на итоговоую промокаемость, при постоянной интенсивности и скорости.

Первые результаты

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **RAIN\_INTENSYTY** | **DROPSIZE** | **HUMAN\_SPEED** | **TOTAL\_VOLUME** |  |
| 1,00 | 0,6 | 2,20 | 6,09 |  |
| 1,00 | 0,6 | 23,04 | 4,59 | -1,4963908464 |
| 1,00 | 0,6 | 43,88 | 4,56 | -0,0372090234 |
| 1,00 | 1,4 | 2,20 | 3,44 |  |
| 1,00 | 1,4 | 23,04 | 1,39 | -2,0502494424 |
| 1,00 | 1,4 | 43,88 | 1,52 | 0,1264344435 |
| 1,00 | 5 | 2,20 | 3,08 |  |
| 1,00 | 5 | 23,04 | 0,39 | -2,6834437249 |
| 1,00 | 5 | 43,88 | 0,13 | -0,2617993878 |
| 1,00 | 7 | 2,20 | 3,95 |  |
| 1,00 | 7 | 23,04 | 0,54 | -3,4122932206 |
| 1,00 | 7 | 43,88 | 0,00 | -0,5387831401 |
| 50,00 | 0,6 | 2,20 | 305,34 |  |
| 50,00 | 0,6 | 23,04 | 229,03 | -76,3169510418 |
| 50,00 | 0,6 | 43,88 | 229,05 | 0,0247683165 |
| 50,00 | 1,4 | 2,20 | 176,09 |  |
| 50,00 | 1,4 | 23,04 | 78,89 | -97,2050990026 |
| 50,00 | 1,4 | 43,88 | 79,01 | 0,1206874234 |
| 50,00 | 5 | 2,20 | 131,55 |  |
| 50,00 | 5 | 23,04 | 28,14 | -103,4107581807 |
| 50,00 | 5 | 43,88 | 21,01 | -7,1340333175 |
| 50,00 | 7 | 2,20 | 133,08 |  |
| 50,00 | 7 | 23,04 | 37,00 | -96,0829933162 |
| 50,00 | 7 | 43,88 | 33,94 | -3,0531044605 |
| 100,00 | 0,6 | 2,20 | 610,91 |  |
| 100,00 | 0,6 | 23,04 | 458,12 | -152,7856787078 |
| 100,00 | 0,6 | 43,88 | 458,13 | 0,0089346895 |
| 100,00 | 1,4 | 2,20 | 351,45 |  |
| 100,00 | 1,4 | 23,04 | 158,17 | -193,2765982784 |
| 100,00 | 1,4 | 43,88 | 157,53 | -0,6364824828 |
| 100,00 | 5 | 2,20 | 249,10 |  |
| 100,00 | 5 | 23,04 | 55,96 | -193,1424983488 |
| 100,00 | 5 | 43,88 | 41,69 | -14,2680666351 |
| 100,00 | 7 | 2,20 | 275,86 |  |
| 100,00 | 7 | 23,04 | 77,58 | -198,2721955534 |
| 100,00 | 7 | 43,88 | 77,41 | -0,17959438 |

Первые результаты удивили. Если с медленной ходьбой более или менее ясно при прогулочном шаге промокнешь гораздо сильнее чем при беге, то разница между просто бегом и очень быстрым бегом не такая сильная, иногда даже отрицательная (то есть при беге с большей скоростью промокнешь больше). В чем секрет? Секрет оказался в ограничении модели. То есть расчет был на то, что скорость падения капель дождя значительно больше скорости человека, но оказалось, что при быстром беге скорость человека менее чем в два раза меньше скорости падения капель, а в эксперименте значение скорости округлялось до целого сантиметра в секунду, вот и выходило что на двух высоких скоростях количество тиков и количество шагов было одинаковым. Для того, чтобы увеличить точность пришлось дистанцию разбить на вехи через каждый сантиметр, и каждый тик проверять пересек ли ее человек, если пересек – инкрементировать фронтальные капли.

К тому же проверка показала, что ситуация, когда скорость человека превышает скорость падения капель не такая уж редкая, пришлось вносить соответствующие корректировки, вот результаты:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **RAIN\_INTENSYTY** | **DROPSIZE** | **HUMAN\_SPEED** | **TOTAL\_VOLUME** |  |
| 1,00 | 0,6 | 2,00 | 6,26 |  |
| 1,00 | 0,6 | 23,00 | 4,28 | -1,9815784159 |
| 1,00 | 0,6 | 43,00 | 4,11 | -0,17190795 |
| 1,00 | 1,4 | 2,00 | 3,63 |  |
| 1,00 | 1,4 | 23,00 | 1,46 | -2,1738103759 |
| 1,00 | 1,4 | 43,00 | 1,57 | 0,1178139133 |
| 1,00 | 5 | 2,00 | 3,27 |  |
| 1,00 | 5 | 23,00 | 0,33 | -2,9452431128 |
| 1,00 | 5 | 43,00 | 0,33 | 0, |
| 1,00 | 7 | 2,00 | 2,69 |  |
| 1,00 | 7 | 23,00 | 0,54 | -2,1551325604 |
| 1,00 | 7 | 43,00 | 1,44 | 0,8979719001 |
| 50,00 | 0,6 | 2,00 | 312,90 |  |
| 50,00 | 0,6 | 23,00 | 214,01 | -98,8944590361 |
| 50,00 | 0,6 | 43,00 | 209,08 | -4,9242579889 |
| 50,00 | 1,4 | 2,00 | 179,39 |  |
| 50,00 | 1,4 | 23,00 | 81,19 | -98,1993334904 |
| 50,00 | 1,4 | 43,00 | 76,15 | -5,0386999262 |
| 50,00 | 5 | 2,00 | 123,90 |  |
| 50,00 | 5 | 23,00 | 25,98 | -97,9129710368 |
| 50,00 | 5 | 43,00 | 21,40 | -4,5814892865 |
| 50,00 | 7 | 2,00 | 143,50 |  |
| 50,00 | 7 | 23,00 | 36,10 | -107,397439258 |
| 50,00 | 7 | 43,00 | 37,36 | 1,2571606602 |
| 100,00 | 0,6 | 2,00 | 625,63 |  |
| 100,00 | 0,6 | 23,00 | 427,90 | -197,736893298 |
| 100,00 | 0,6 | 43,00 | 418,17 | -9,7289720942 |
| 100,00 | 1,4 | 2,00 | 358,96 |  |
| 100,00 | 1,4 | 23,00 | 161,43 | -197,5322667076 |
| 100,00 | 1,4 | 43,00 | 151,47 | -9,9567124289 |
| 100,00 | 5 | 2,00 | 253,36 |  |
| 100,00 | 5 | 23,00 | 55,63 | -197,7239876353 |
| 100,00 | 5 | 43,00 | 48,89 | -6,7413342358 |
| 100,00 | 7 | 2,00 | 275,50 |  |
| 100,00 | 7 | 23,00 | 84,41 | -191,0884203522 |
| 100,00 | 7 | 43,00 | 79,20 | -5,2082370209 |

Почти все результаты укладываются в мою картину мира, за исключением одного, надо бы перепроверить. Чем больше скорость, тем меньше человек получает капель сверху, при этом, при прочих равных, количество капель спереди примерно одинаковое, но в этом случае отклонение около 12 % довольно большое. Надо перепроверить корректность эксперимента, а потом на более длинной дистанции. При поверхностном анализе кода ошибок выявлено не было, анализ данных показал, что в остальных случаях при аналогичных условиях результаты укладываются в модель, также анализ данных показал, что плотность капель не очень большая – примерно 1 на 25 слоев, может сыграла роль маленькая выборка, ведь чем меньше выборка тем больше может быть отклонение. Проверить гипотезу легко – шаг один перепроверить на той же выборке, шаг два – увеличить выборки.

Хотел увеличить дистанцию в два раза, случайно добавил ноль получилось в 20 раз – до одного километра. Время выпонлнения 1 час и 8 минут. Вот результаты:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **RAIN\_INTENSYTY** | **DROPSIZE** | **HUMAN\_SPEED** | **TOTAL\_VOLUME** |  |
| 1 | 0,6 | 2,00 | 125,28 |  |
| 1 | 0,6 | 23,00 | 85,64 | -39,641633979 |
| 1 | 0,6 | 43,00 | 83,44 | -2,1914870706 |
| 1 | 1,4 | 2,00 | 72,12 |  |
| 1 | 1,4 | 23,00 | 32,52 | -39,6012791742 |
| 1 | 1,4 | 43,00 | 30,18 | -2,3390372055 |
| 1 | 5 | 2,00 | 52,62 |  |
| 1 | 5 | 23,00 | 11,98 | -40,6443549558 |
| 1 | 5 | 43,00 | 8,84 | -3,1415926536 |
| 1 | 7 | 2,00 | 56,21 |  |
| 1 | 7 | 23,00 | 17,24 | -38,9719804666 |
| 1 | 7 | 43,00 | 19,93 | 2,6939157005 |
| 1 | 7 | 2,00 | 57,65 |  |
| 1 | 7 | 23,00 | 18,68 | -38,9719804666 |
| 1 | 7 | 43,00 | 13,65 | -5,0286426408 |
| 50 | 0,6 | 2,00 | 6256,75 |  |
| 50 | 0,6 | 23,00 | 4279,57 | -1977,1809652076 |
| 50 | 0,6 | 43,00 | 4180,57 | -98,9926275234 |
| 50 | 1 | 2,00 | 3590,72 |  |
| 50 | 1 | 23,00 | 1613,46 | -1977,2637231357 |
| 50 | 1 | 43,00 | 1514,06 | -99,396150439 |
| 50 | 5 | 2,00 | 2543,51 |  |
| 50 | 5 | 23,00 | 571,44 | -1972,069338444 |
| 50 | 5 | 43,00 | 468,69 | -102,7562597112 |
| 50 | 7, | 2,00 | 2788,38 |  |
| 50 | 7, | 23,00 | 799,91 | -1988,4689756945 |
| 50 | 7, | 43,00 | 653,72 | -146,1898253446 |
| 100 | 0,6 | 2,00 | 12513,91 |  |
| 100 | 0,6 | 23,00 | 8559,02 | -3954,8948450603 |
| 100 | 0,6 | 43,00 | 8361,58 | -197,4402389868 |
| 100 | 1 | 2,00 | 7182,57 |  |
| 100 | 1 | 23,00 | 3229,04 | -3953,5389588037 |
| 100 | 1 | 43,00 | 3030,83 | -198,2032313114 |
| 100 | 5 | 2,00 | 5092,78 |  |
| 100 | 5 | 23,00 | 1113,89 | -3978,8925456185 |
| 100 | 5 | 43,00 | 933,31 | -180,5761277344 |
| 100 | 7 | 2 | 5571,736046 |  |
| 100 | 7 | 23 | 1670,407329 | -3901,3287173964 |
| 100 | 7 | 43 | 1463,514603 | -206,8927257948 |

Качество выборки улучшилось. Единственный кейс, где был отрицательный результат – это самые крупные капли (7мм) при самой низкой интенсивности (1мм/ч). В этом случае плотность очень невысокая 0,000152 капли на слой, 1 капля на на 7,5 тысяч слоев или 1 капля на 11,3 кубических метров пространства (это куб с ребром 2.25 м). Что сказать, если кому либо предстоит преодолевать дистанцию в таких условиях, то многое будет зависеть от его удачи, и тем не менее, если идти прогулочным шагом вы промокнете в гораздо сильнее. Хотя, если вам повезло увидеть такой дождь, вы определенно счастливчик.

Зависимость общего объема от размера капли.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **INTENSITY** | **HUMAN\_SPEED** | **DROPSIZE** | **DROP\_FALLING\_SPEED** | **TOTAL\_VOLUME** | **DIFF** |
| 1 | 2 | 0,6 | 262 | 125,28 |  |
| 1 | 2 | 1,4 | 759 | 72,12 | 53,15 |
| 1 | 2 | 5 | 2999 | 52,62 | 19,50 |
| 1 | 2 | 7 | 1755 | 57,65 | -5,03 |
| 1 | 23 | 0,6 | 262 | 85,64 |  |
| 1 | 23 | 1,4 | 759 | 32,52 | 53,11 |
| 1 | 23 | 5 | 2999 | 11,98 | 20,55 |
| 1 | 23 | 7 | 1755 | 18,68 | -6,70 |
| 1 | 43 | 0,6 | 262 | 83,44 |  |
| 1 | 43 | 1,4 | 759 | 30,18 | 53,26 |
| 1 | 43 | 5 | 2999 | 8,84 | 21,35 |
| 1 | 43 | 7 | 1755 | 13,65 | -4,81 |
| 50 | 2 | 0,6 | 262 | 6256,75 |  |
| 50 | 2 | 1,4 | 759 | 3590,72 | 2666,03 |
| 50 | 2 | 5 | 2999 | 2543,51 | 1047,21 |
| 50 | 2 | 7 | 1755 | 2788,38 | -244,87 |
| 50 | 23 | 0,6 | 262 | 4279,57 |  |
| 50 | 23 | 1,4 | 759 | 1613,46 | 2666,11 |
| 50 | 23 | 5 | 2999 | 571,44 | 1042,01 |
| 50 | 23 | 7 | 1755 | 799,91 | -228,47 |
| 50 | 43 | 0,6 | 262 | 4180,57 |  |
| 50 | 43 | 1,4 | 759 | 1514,06 | 2666,51 |
| 50 | 43 | 5 | 2999 | 468,69 | 1045,37 |
| 50 | 43 | 7 | 1755 | 653,72 | -185,04 |
| 100 | 2 | 0,6 | 262 | 12513,91 |  |
| 100 | 2 | 1,4 | 759 | 7182,57 | 5331,34 |
| 100 | 2 | 5 | 2999 | 5092,78 | 2089,79 |
| 100 | 2 | 7 | 1755 | 5571,74 | -478,95 |
| 100 | 23 | 0,6 | 262 | 8559,02 |  |
| 100 | 23 | 1,4 | 759 | 3229,04 | 5329,98 |
| 100 | 23 | 5 | 2999 | 1113,89 | 2115,14 |
| 100 | 23 | 7 | 1755 | 1670,41 | -556,52 |
| 100 | 43 | 0,6 | 262 | 8361,58 |  |
| 100 | 43 | 1,4 | 759 | 3030,83 | 5330,74 |
| 100 | 43 | 5 | 2999 | 933,31 | 2097,52 |
| 100 | 43 | 7 | 1755 | 1463,51 | -530,20 |

Похоже, общий объем зависит не столько от объема капли, сколько от плотности капель в пространстве, которая зависит от скорости падения, которая зависит в том числе от размера капли.

Как видно отношение количества капель спереди к количеству капель, полученных сверху в первую очередь зависит от скорости человека: чем меньше скорость человека, тем больше в совокупном объеме воды, полученной сверху. Это понятно, это вполне объяснимо, на этом построена логика модели. Как видно из таблицы ниже при одном и том же наборе интенсивность-размер капли, количество капель полученных спереди очень близко, при том, что количество капель полученных сверху значительно меняется в зависимости от скорости. И, как видно, соотношение совсем не зависит от интенсивности дождя.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **INTENSITY** | **DROPSIZE** | **HUMAN\_SPEED** | **TOTAL\_TOP** | **TOTAL\_FRONT** |
| 1 | 0,6 | 2 | 386952 | 720747 |
| 1 | 0,6 | 23 | 36901 | 720289 |
| 1 | 0,6 | 43 | 19277 | 718536 |
| 1 | 1,4 | 2 | 30481 | 19718 |
| 1 | 1,4 | 23 | 2889 | 19747 |
| 1 | 1,4 | 43 | 1526 | 19482 |
| 1 | 5 | 2 | 689 | 115 |
| 1 | 5 | 23 | 62 | 121 |
| 1 | 5 | 43 | 31 | 104 |
| 1 | 7 | 2 | 258 | 63 |
| 1 | 7 | 2 | 246 | 67 |
| 1 | 7 | 23 | 25 | 71 |
| 1 | 7 | 23 | 20 | 84 |
| 1 | 7 | 43 | 7 | 69 |
| 1 | 7 | 43 | 19 | 92 |
| 50 | 0,6 | 2 | 19321654 | 36000141 |
| 50 | 0,6 | 23 | 1841895 | 35997782 |
| 50 | 0,6 | 43 | 966563 | 35997827 |
| 50 | 1,4 | 2 | 1522060 | 977127 |
| 50 | 1,4 | 23 | 144761 | 978225 |
| 50 | 1,4 | 43 | 76130 | 977675 |
| 50 | 5 | 2 | 33436 | 5426 |
| 50 | 5 | 23 | 3204 | 5527 |
| 50 | 5 | 43 | 1688 | 5473 |
| 50 | 7 | 2 | 12155 | 3371 |
| 50 | 7 | 23 | 1126 | 3328 |
| 50 | 7 | 43 | 529 | 3111 |
| 100 | 0,6 | 2 | 38649244 | 71998020 |
| 100 | 0,6 | 23 | 3682597 | 71995719 |
| 100 | 0,6 | 43 | 1933588 | 71998973 |
| 100 | 1,4 | 2 | 3044054 | 1955110 |
| 100 | 1,4 | 23 | 291033 | 1956417 |
| 100 | 1,4 | 43 | 152341 | 1957157 |
| 100 | 5 | 2 | 67026 | 10786 |
| 100 | 5 | 23 | 6300 | 10719 |
| 100 | 5 | 43 | 3358 | 10902 |
| 100 | 7 | 2 | 24287 | 6737 |
| 100 | 7 | 23 | 2354 | 6947 |
| 100 | 7 | 43 | 1177 | 6972 |

Здесь выяснился интересный факт, лайфхак, если угодно, который, как всегда лежит на поверхности, и как всегда практически бесполезный: Соотношение капель сверху и спереди также зависит от скорости падения дождевых капель (таблица ниже). Чем эта скорость больше, тем соотношение меньше. То есть при одинаковой интенсивности дождя и скорости движения человека, если скорость дождя будет больше, то капель сверху будет получено больше. Следовательно при большей скорости падения капель доля воды полученной сверху больше, это значит, что при большей скорости падения капель дождя человек может сильнее повлиять на итоговое промокание. То есть если вас застал ливень, который хлещет крупными каплями, то чем быстрее вы добежите до укрытия, тем меньше вы промокните. И наоборот, если на улице морось, множество мелких висящих в воздухе капель, то бежать особого смысла нет, это не сильно повлияет на итоговый результат. (не стоит благодарности, ваш КО)

**Отношение капель полученных сверху, и капель, полученных спереди:**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **HUMAN\_SPEED** | **INTENSITY** | **DROP\_FALLING\_SPEED** | **F/T** |
| 2 | 1 | 262 | 1,86 |
| 2 | 1 | 759 | 0,65 |
| 2 | 1 | 2999 | 0,17 |
| 2 | 1 | 1755 | 0,24 |
| 2 | 1 | 1755 | 0,27 |
| 2 | 50 | 262 | 1,86 |
| 2 | 50 | 759 | 0,64 |
| 2 | 50 | 2999 | 0,16 |
| 2 | 50 | 1755 | 0,28 |
| 2 | 100 | 262 | 1,86 |
| 2 | 100 | 759 | 0,64 |
| 2 | 100 | 2999 | 0,16 |
| 2 | 100 | 1755 | 0,28 |
| 23 | 1 | 262 | 19,52 |
| 23 | 1 | 759 | 6,84 |
| 23 | 1 | 2999 | 1,95 |
| 23 | 1 | 1755 | 4,20 |
| 23 | 1 | 1755 | 2,84 |
| 23 | 50 | 262 | 19,54 |
| 23 | 50 | 759 | 6,76 |
| 23 | 50 | 2999 | 1,73 |
| 23 | 50 | 1755 | 2,96 |
| 23 | 100 | 262 | 19,55 |
| 23 | 100 | 759 | 6,72 |
| 23 | 100 | 2999 | 1,70 |
| 23 | 100 | 1755 | 2,95 |
| 43 | 1 | 262 | 37,27 |
| 43 | 1 | 759 | 12,77 |
| 43 | 1 | 2999 | 3,35 |
| 43 | 1 | 1755 | 4,84 |
| 43 | 1 | 1755 | 9,86 |
| 43 | 50 | 262 | 37,24 |
| 43 | 50 | 759 | 12,84 |
| 43 | 50 | 2999 | 3,24 |
| 43 | 50 | 1755 | 5,88 |
| 43 | 100 | 262 | 37,24 |
| 43 | 100 | 759 | 12,85 |
| 43 | 100 | 2999 | 3,25 |
| 43 | 100 | 1755 | 5,92 |

Интересная тема это влияние характера дождя (интенсивность/размер капли/скорость падения) на общее промокание:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **HUMAN**  **SPEED** | **INTENSITY** | **DROP**  **FALLING**  **SPEED** | **TOTAL**  **TOP** | **TOTAL**  **FRONT** | **TOTAL**  **VOLUME** | **F/T** |
| 2 | 1 | 262 | 386952 | 720747 | 125,28 | 1,86 |
| 2 | 1 | 759 | 30481 | 19718 | 72,12 | 0,65 |
| 2 | 1 | 1755 | 258 | 63 | 57,65 | 0,24 |
| 2 | 1 | 1755 | 246 | 67 | 56,21 | 0,27 |
| 2 | 1 | 2999 | 689 | 115 | 52,62 | 0,17 |
| 2 | 50 | 262 | 19321654 | 36000141 | 6256,75 | 1,86 |
| 2 | 50 | 759 | 1522060 | 977127 | 3590,72 | 0,64 |
| 2 | 50 | 1755 | 12155 | 3371 | 2788,38 | 0,28 |
| 2 | 50 | 2999 | 33436 | 5426 | 2543,51 | 0,16 |
| 2 | 100 | 262 | 38649244 | 71998020 | 12513,91 | 1,86 |
| 2 | 100 | 759 | 3044054 | 1955110 | 7182,57 | 0,64 |
| 2 | 100 | 1755 | 24287 | 6737 | 5571,74 | 0,28 |
| 2 | 100 | 2999 | 67026 | 10786 | 5092,78 | 0,16 |
| 23 | 1 | 262 | 36901 | 720289 | 85,64 | 19,52 |
| 23 | 1 | 759 | 2889 | 19747 | 32,52 | 6,84 |
| 23 | 1 | 1755 | 25 | 71 | 17,24 | 2,84 |
| 23 | 1 | 1755 | 20 | 84 | 18,68 | 4,20 |
| 23 | 1 | 2999 | 62 | 121 | 11,98 | 1,95 |
| 23 | 50 | 262 | 1841895 | 35997782 | 4279,57 | 19,54 |
| 23 | 50 | 759 | 144761 | 978225 | 1613,46 | 6,76 |
| 23 | 50 | 1755 | 1126 | 3328 | 799,91 | 2,96 |
| 23 | 50 | 2999 | 3204 | 5527 | 571,44 | 1,73 |
| 23 | 100 | 262 | 3682597 | 71995719 | 8559,02 | 19,55 |
| 23 | 100 | 759 | 291033 | 1956417 | 3229,04 | 6,72 |
| 23 | 100 | 1755 | 2354 | 6947 | 1670,41 | 2,95 |
| 23 | 100 | 2999 | 6300 | 10719 | 1113,89 | 1,70 |
| 43 | 1 | 262 | 19277 | 718536 | 83,44 | 37,27 |
| 43 | 1 | 759 | 1526 | 19482 | 30,18 | 12,77 |
| 43 | 1 | 1755 | 19 | 92 | 19,93 | 4,84 |
| 43 | 1 | 1755 | 7 | 69 | 13,65 | 9,86 |
| 43 | 1 | 2999 | 31 | 104 | 8,84 | 3,35 |
| 43 | 50 | 262 | 966563 | 35997827 | 4180,57 | 37,24 |
| 43 | 50 | 759 | 76130 | 977675 | 1514,06 | 12,84 |
| 43 | 50 | 1755 | 529 | 3111 | 653,72 | 5,88 |
| 43 | 50 | 2999 | 1688 | 5473 | 468,69 | 3,24 |
| 43 | 100 | 262 | 1933588 | 71998973 | 8361,58 | 37,24 |
| 43 | 100 | 759 | 152341 | 1957157 | 3030,83 | 12,85 |
| 43 | 100 | 1755 | 1177 | 6972 | 1463,51 | 5,92 |
| 43 | 100 | 2999 | 3358 | 10902 | 933,31 | 3,25 |

Как видно из таблицы от скорости падения капель в значительной степени зависит итоговое намокание, чем выше скорость падения капель, тем меньше Катя соберет капель, при той же интенсивности дождя и скорости движения Кати. Например, при дистанции 1 км, интенсивности дождя 50 мм/час, и скорости 23 км/час (быстрый бег), если капли будут размером 0.6 мм – Катя соберет 4.3 литра воды, но если капли будут размером 5 мм, то Катя соберет всего 0.6 литра.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **HUMAN SPEED** | **INTENSITY** | **DROP FALLING SPEED** | **TOTAL VOLUME** |
| 23 | 50 | 262 | 4279,57 |
| 23 | 50 | 2999 | 571,44 |

Нужно также не забыть, что скорость падения капель производная величина, зависящая от размера капли. В нашей модели максимальная скорость соответствует размеру капли диаметром 5 мм. Поэтому утверждение можно переформулировать следующим образом: чем размер капли ближе к размеру соответствующему максимальной скорости, тем меньше Катя промокнет.

И еще один важный момент в этом выводе, когда мы говорим о разных размерах капель(разных скоростях их падения), то нужно помнить, что эксперимент проводится при одинаковой интенсивности, но в реальной жизни более мелкие капли, как правило означают меньшую интенсивность. -> не пытайтесь повторить это дома.

В таблице есть одна, на мой взгляд, интересная закономерность – чем выше скорость падения капель, тем меньше соотношение количества капель полученных сверху к каплям, полученным спереди. Следовательно, при большей скорости падения капель доля воды полученной сверху больше, это значит, что при большей скорости падения капель дождя человек может сильнее повлиять на итоговое промокание. Продемонстрирую на следующем примере: возьмем к интенсивность среднего ливня 50 мм в час, и две скорости прохождения дистанции 2 м/с и 23 м/с если дождь будет мелкий (размер капли 0.6 мм) и капли будут медленно падать, то на большей скорости бега итоговое количество воды будет меньше всего на 32%, если же дождь будет идти крупными (5мм), быстрыми каплями, то итоговое количество воды будет меньше на 77,5%. То есть бежать стоит в случае дождя с крупными каплями, если же капли мелкие то бег слабее повлияет на итоговое промокание.

# Выводы

Есть ли условия при которых двигаться медленнее, ем бежать?

Если вы бежали и промокли меньше чем ваш научный оппонент, который шел, не расстраивайтесь этот факт не опровергает теорию, просто вы неудачник.