

Краевой угол на наклонной поверхности. Угол скольжения

Капли дождя легко скользят по листьям некоторых растений и собирают грязь, это явление называют «Эффект Лотоса». Исследования листьев лотоса позволило разрабатывать гидрофобные и самоочищающиеся поверхности за счет дополнительной обработки (пропитка, нанесение покрытия). В данной статье представлены результаты сравнения угла скольжения и динамического краевого угла на наклонных поверхностях.



Фирма KRUSS давно производит приборы для измерения краевого угла, которые позволяют оценить смачиваемость поверхностей по методу лежащей капли. На основе краевого угла по нескольким жидкостям программа ADVANCE рассчитывает свободную энергию поверхности (СЭП), которая для твердых тел является аналогом поверхностного натяжения.

В повседневной жизни хорошая гидрофобность нужна на наклонных или вертикальных поверхностях (ветровые стекла машин, корпус автомобилей и самолетов, ветровки и куртки и т.п.), поэтому исследования в этой области очень важны. В настоящий момент компания KRUSS предлагает несколько приборов для изучения краевых углов на наклонной поверхности:

- прибор DSA100 с наклонным основанием
- прибор DSA100 с малым наклонным столиком
- прибор DSA30 с малым наклонным столиком
- прибор DSA25 с наклонным основанием
- анализатор поверхности MSA



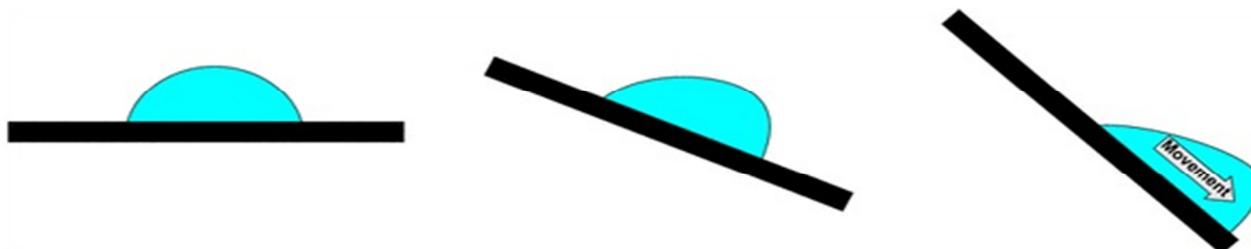
Наклонные основания для приборов DSA100 и приборов DSA25 позволяют поворачивать прибор с закрепленным на нем образцом на угол до 90°. При этом видеокамера тоже поворачивается, поэтому на видео капля «убегает» по горизонтальной поверхности. Это облегчает обработку видеоряда.

Малые наклонные столики для приборов DSA100 и приборов DSA30 ставятся вместо стандартного столика для образца и поворачивают только образец. При этом видеокамера неподвижна. На видеозаписи поверхность будет также поворачиваться.

Кроме того, есть портативный анализатор поверхности MSA, который уместается в ладонку и дает возможность дозировать каплю на любую поверхность, в том числе, и под поверхность.

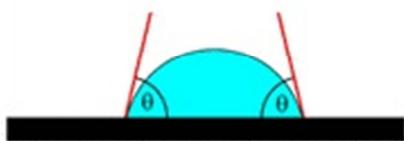
При измерении на наклонных поверхностях учитываются два показателя: *угол скольжения* и *динамический краевой угол*.

Если каплю разместить на горизонтальной поверхности, а затем постепенно наклонять эту поверхность, то сначала капля будет деформироваться (зависит от плотности, объема и поверхностного натяжения жидкости), а затем начнет двигаться и скользить по поверхности. *Угол скольжения* – это угол наклона поверхности, при котором капля начинает двигаться по ней.

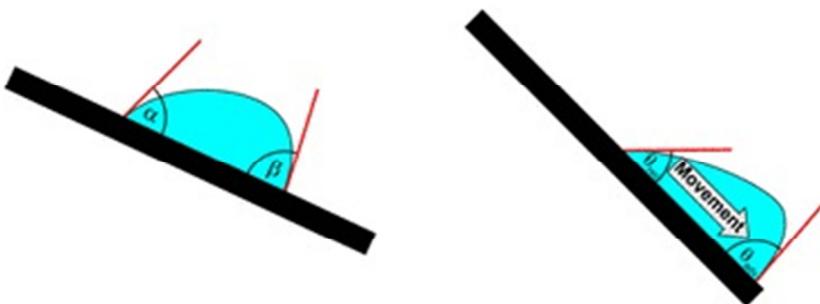


Динамический краевой угол – это наступающий угол θ_{Adv} и отступающий угол θ_{Rec} при движении капли по поверхности.

статические краевой угол



динамический краевой угол

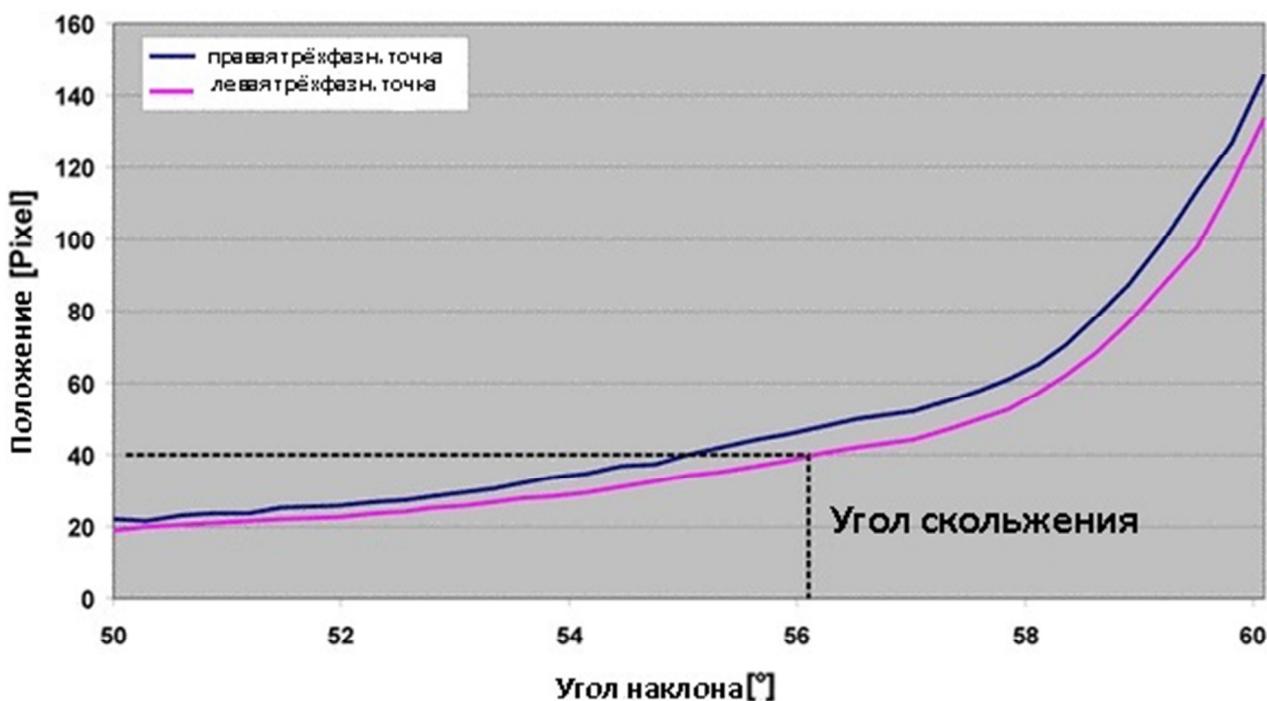
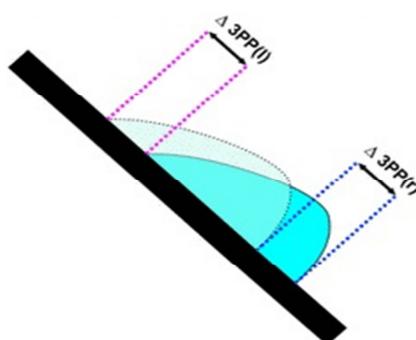
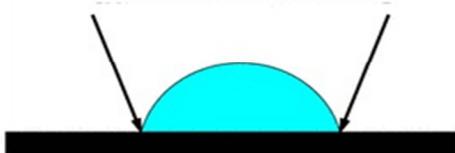


Для измерений, приведённых в этой статье, использовали воду и покрытие PMMA (KASI). Описанный метод предназначен для поиска измерения условий, при которых угол скольжения и динамический контактный угол могут быть достоверно определены.

Определение угла скольжения

Угол скольжения может быть определен путем анализа формы капли нескольких последовательных изображений. Критерием оценки движения является перемещения трехфазной точки (левой и правой точки контакта трех фаз) на 40 пикселей.

трехфазные точки

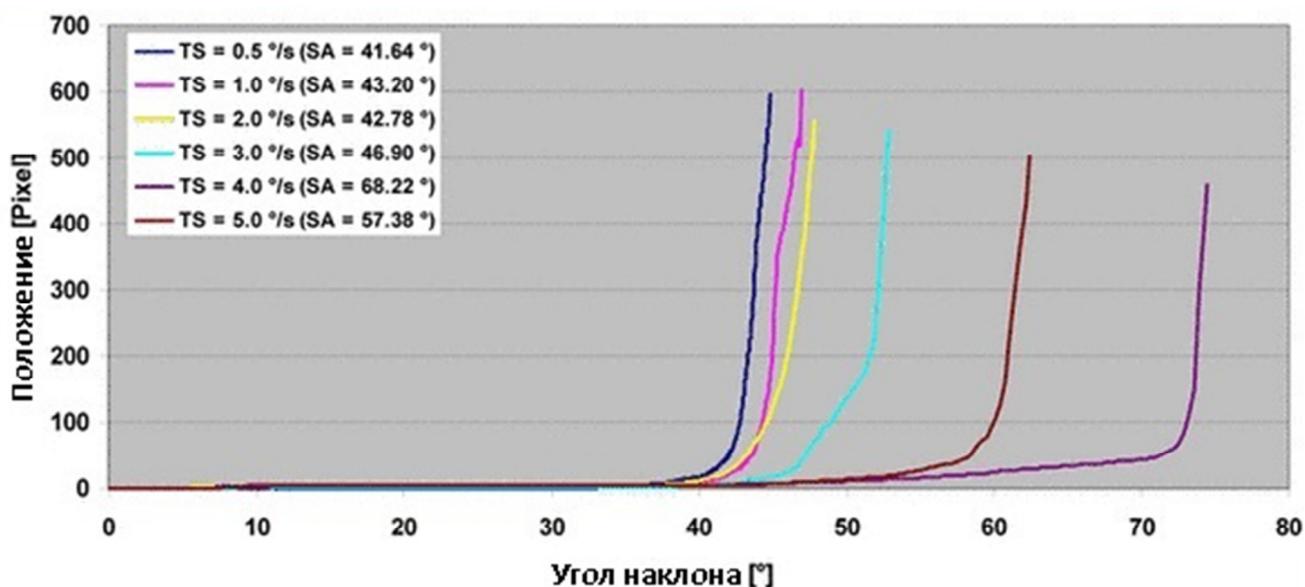


Угол скольжения является эмпирической величиной, зависящей от выбранных параметров измерения, таких как скорость наклона или объём капли. Для сравнительных измерений между несколькими образцами важно определить подходящие условия измерения в соответствии с критериями, указанными ниже.

Влияние скорости наклона на угол скольжения

Одним из искажающих факторов при измерении угла скольжения является слишком высокая скорость наклона, влияющая на результат из-за инерции капли. Для сравнения различных образцов измерения должны проводиться при низких скоростях наклона, чтоб исключить влияние скорости на угол скольжения. Диапазон скорости зависит от различных факторов, таких как вес капли, краевой угол и шероховатость. Поэтому предварительно необходимо провести серию тестов при различных скоростях наклона.

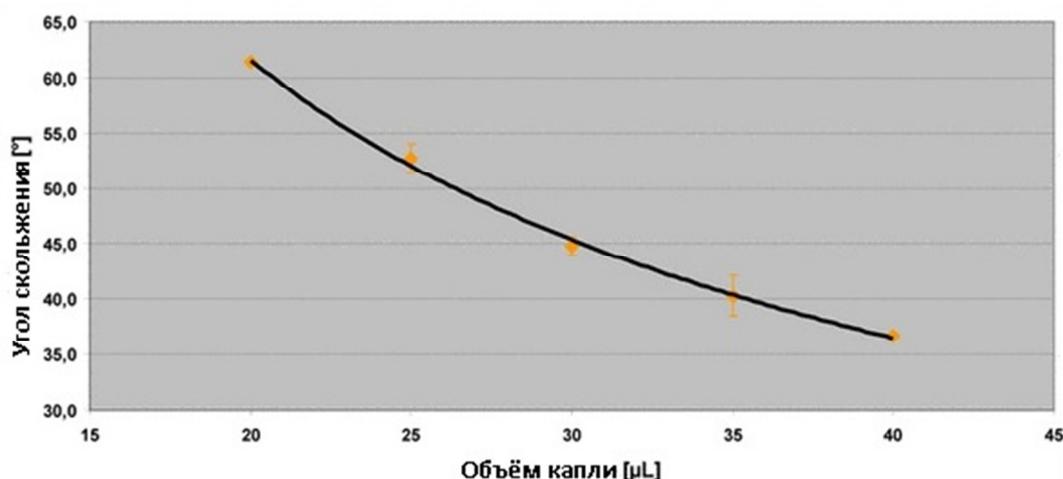
Влияние скорости наклона образца на угол скольжения видно из следующих кривых, показывающих изменение позиций трехфазных точек при различных скоростях наклона:



При скоростях наклона до 2°/сек различия угла скольжения находится в пределах диапазона разброса измерений. При скоростях наклона выше 3°/с видно явное влияние скорости на скольжение.

Влияние объема капли на угол скольжения

Очевидно, чем больше вес капли, тем сильнее действуют силы вдоль всей наклонной поверхности, а значит, капля будет двигаться уже при небольшом угле наклона. Это означает, что угол скольжения уменьшается с увеличением объема, как видно из следующего рисунка



При сравнении нескольких образцов необходимо учитывать одинаковый объем дозирования. Обычно выбирают объем капли порядка 20-40мкл, что значительно больше, чем для стандартного измерения краевого угла (1-3 мкл).

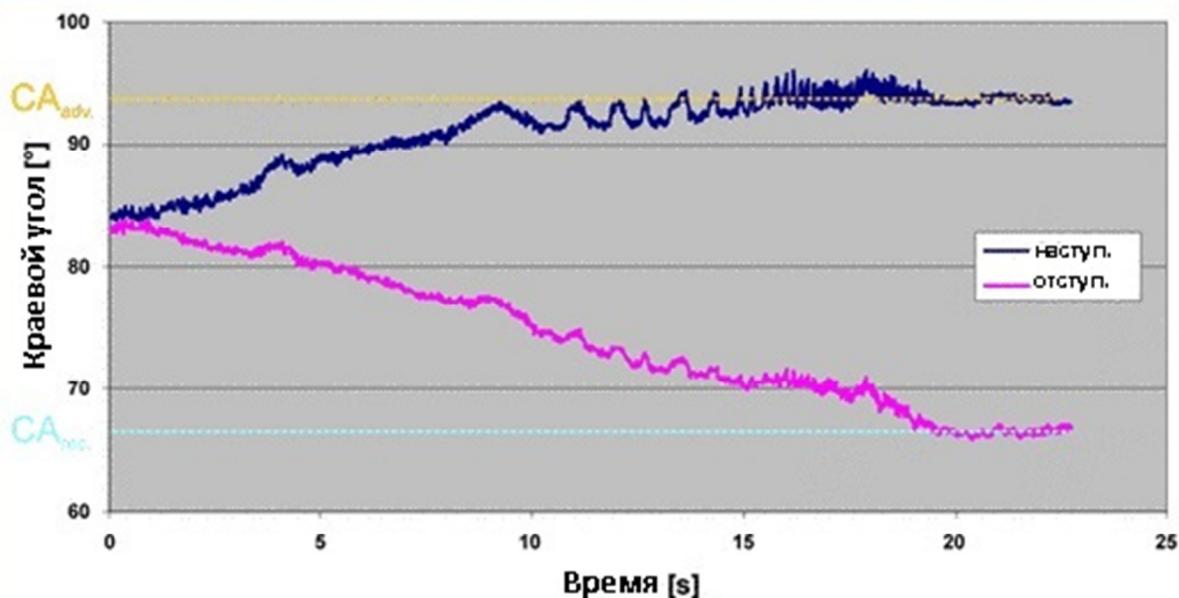
Определение динамического краевого угла

Динамический контактный угол измеряется в процессе увлажнения и осушения поверхности, при этом точки контакта трех фаз смещаются, в отличие от статистического краевого угла. Основной метод измерения основан на увеличении (натекающий угол) или уменьшении (оттекающий угол) объема дозирования на ровной поверхности во времени. Динамический краевой угол также можно измерить по капле, движущейся по наклонной поверхности. Поэтому измерение угла скольжения и динамического краевого угла тесно связаны.

Определение в постоянном диапазоне

При наклоне поверхности капля сразу деформируется, но первое время не двигается. Нижний угол кали становится больше, а верхний меньше, в результате деформации под весом капли. Когда угол наклона превысит угол скольжения и капля начнет двигаться, только спустя какое-то время на обоих краях капли будут зафиксированы постоянные значения. Таким образом, будут определены натекающий угол смачивания и оттекающий угол смачивания.

Ниже на графике показано постепенное достижение постоянного динамического краевого угла во время эксперимента. Верхнее плато соответствует углу натекания (θ_{Adv}), нижнее – углу оттекания (θ_{Rec}).

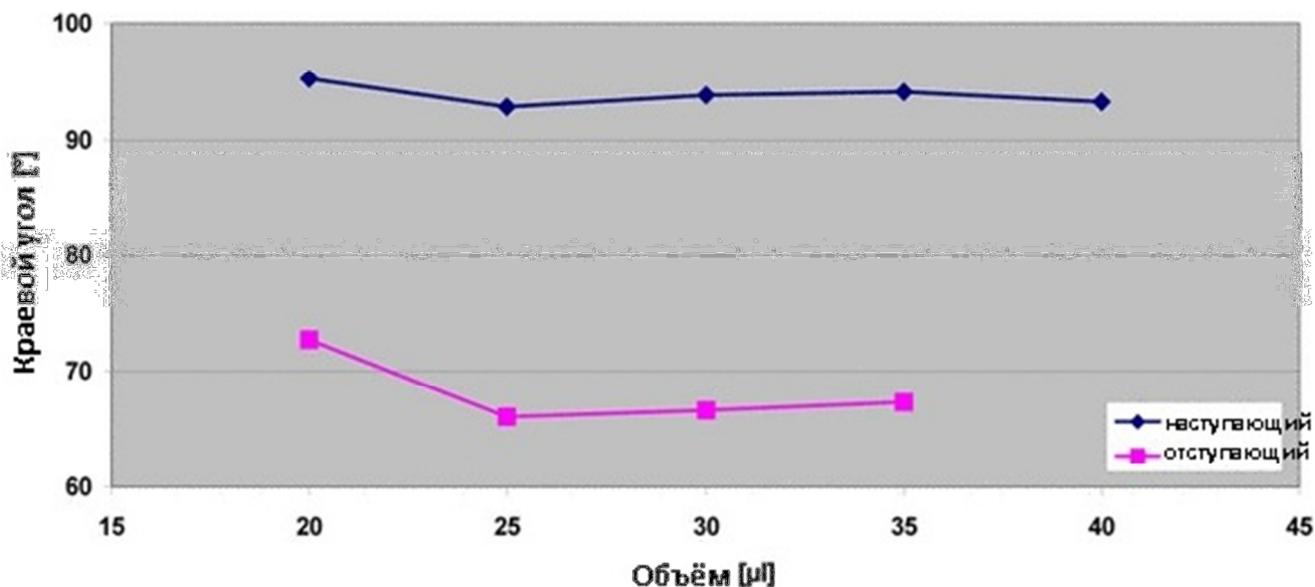


Влияние угла наклона

Чем больше угол наклона поверхности превышает угол скольжения, тем быстрее движется капля и тем труднее измерить постоянный динамический краевой угол. В идеале, угол наклона, выбранный для измерения, должен быть чуть выше угла скольжения.

Влияние объема капли

Было установлено, что изменение угла движения сильно зависит от объёма капли. Для небольших объемов капли значение динамического краевого угла, как правило, выше. В среднем диапазоне отступающий угол не зависит от объема капли, хотя наблюдается более сильный разброс, чем для наступающего угла. В целом, для обоих динамических краевых углов отмечалась зависимость от объема в широком диапазоне. Экспериментально установлено, что оптимальный объем капли 20-40 мкл.



Выводы

- Впервые, в качестве критерия для измерения угла скольжения, было выбрано перемещение точки контакта трех фаз для 40 пикселей.
- Выяснено, что скорость наклона поверхности не должна превышать критического значения, чтобы не влиять на угол скольжения.
- Объем каплей должен быть одинаковым для сопоставимости данных.
- При угле наклона больше угла скольжения, наступающий и отступающий углы могут быть определены по графику выхода на плато. Выбранный угол наклона должен незначительно превышать угол скольжения, иначе капля будет двигаться слишком быстро и этого времени не хватит для построения графика.
- Изменение объема капли не значительно влияет на измерение наступающего угла; для отступающего угла самым надежным считается средний объем капли.
- Описанная процедура определения оптимальных условий эксперимента может быть использована в других системах.