

# «Вторая кожа» яхтсмена

Развитие современных технологий позволило реализовать давнюю мечту моряков: создать удобную и практичную непромокаемую одежду, обеспечивающую нормальную терморегуляцию организма. На смену душным и тяжелым непромоканцам (вполне справедливо заслужившим у яхтсменов название «непросыханцы») в последние 30 лет пришли легкие и удобные костюмы, способные создать комфорт для своего носителя даже в самых суровых условиях океанского плавания. В этом отношении они во многом превосходят классическую теплую одежду из натуральных волокон. Давайте попробуем разобраться, как работают технологии, по которым созданы эти костюмы, и почему они не пропускают воду, одновременно отводя от кожи влагу и тепло.



**В** спокойном, расслабленном состоянии организм взрослого мужчины выделяет 120–150 Вт тепловой энергии, а в ходе интенсивной физической деятельности – много больше. Параллельно с этим человек за световой день теряет с потом до литра влаги, а в условиях интенсивной работы или в жаркую погоду – в несколько раз больше (порой – более двух литров за час), поскольку именно процесс испарения влаги с поверхности кожи оказывает охлаждающее воздействие на тело. Например, для того чтобы нормально охладить организм, выделяющий (рассеивающий в окружающую среду) порядка 700 Вт тепловой энергии (это эквивалентно быстрому движению со скоростью 6–7 км/ч с грузом порядка 25 кг), не-

обходимо ежечасно испарять не менее литра пота. Именно поэтому создание условий хорошего отвода испаряемой влаги от поверхности тела – важная задача для обеспечения требуемой терморегуляции организма. Стоит немного задержать этот процесс, как кожа перестает нормально испарять влагу, и человек начинает перегреваться. В отсутствие же такого испарения длительный (порядка 4 ч) перегрев в условиях напряженного физического труда может привести к тепловому удару с весьма неприятными последствиями. Если же испарившаяся влага своевременно не удаляется из окружающих тело слоев воздуха (например, из-за плотной одежды), то этим самым она (в силу повышения влажности) препятствует дальнейшему испарению и,

как следствие, охлаждению тела. Поэтому не стоит удивляться тому, что создание одежды (особенно спортивной) с высокой паропроницаемостью (быстрым отводом влаги) – весьма актуально. Сложность изготовления яхтенной одежды усугубляется еще и тем, что, отводя от кожи ее испарения (т.е. влагу), необходимо в то же самое время исключить проницаемость одежды для морской воды (т.е. той же самой влаги). При этом вблизи кожи в любом случае должна находиться еще и воздушная прослойка, обеспечивающая теплоизоляцию тела. Кроме того, яхтенная одежда, разумеется, должна быть и ветронепродуваемой (ветрозащитной).

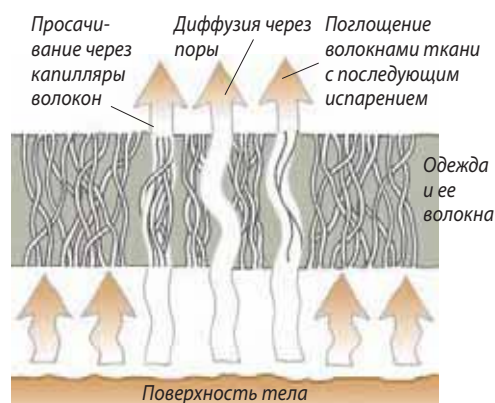
Классическая одежда из натуральных материалов наподобие хлопка или

шерсти способна достаточно хорошо отводить влагу от кожи лишь в течение некоторого (порой – весьма непродолжительного) времени. Причина этого заключается в следующем: продвижение частиц воды сквозь одежду по ее сравнительно длинным капиллярным каналам идет медленнее, чем сам процесс испарения с поверхности кожи. Кроме того, скорость испарения влаги с поверхности мокрой одежды тоже ниже, чем с поверхности тела, хотя бы уже потому, что температура человеческого организма (с поверхности которого испаряется пот) превышает  $36^{\circ}\text{C}$ , а в природе наружная поверхность одежды редко достигает похожих температур. Таким образом, натуральная одежда со временем полностью пропитывается влагой, переставая отводить ее от тела. (На основании вышесказанного можно отметить, что самой главной проблемой в разработке одежды с высокой паропроницающей способностью является необходимость изготовления сверхтонкого материала, на преодоление длинных капилляров которого отводимой от тела влаге не придется тратить время.)

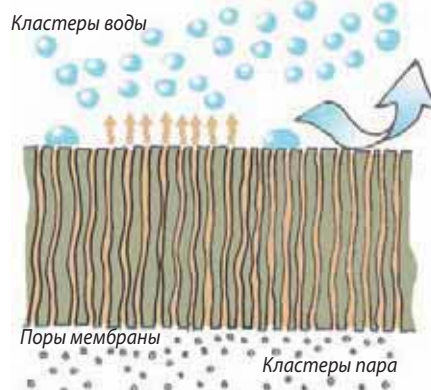
Создатели новых материалов с блеском разрешили эту проблему, предложив сразу две принципиально разные технологии, позволяющие разработать на их основе высокогигиеничные «дышащие» непромокаемые костюмы. Первая из этих технологий – самая, пожалуй, известная, довольно часто именуется «мембранной», что, строго говоря, не совсем правильно (хотя бы уже потому, что вторая технология с полным основанием имеет ничуть не меньшее право на подобное название). Принцип ее базируется на следующем

факте: ни водяной пар, ни сама вода в жидком состоянии не существуют в виде отдельных разрозненных молекул. В каждом из упомянутых агрегатных состояний  $\text{H}_2\text{O}$  существует (в реальной жизни, а не в химических абстракциях) в виде неких комочков, «сгустков» молекул, именуемых кластерами. При этом для каждого из состояний характерны свои размеры этих кластеров – в среднем можно говорить о том, что поперечное сечение кластера пара примерно в 150–200 раз меньше, чем сечение кластера воды в жидком состоянии. Дальше все просто: надо лишь создать пористый материал (ту самую мембрану), имеющую размер пор, достаточный для просачивания сквозь них кластеров пара, но много меньший, чем кластеры воды – и проблема решена! Попадающие на такую мембрану капли воды не в состоянии проникнуть сквозь тесные поры – той самой силы поверхностного натяжения, обычно и обеспечивающей хорошую просачиваемость по принципу «вода дырочку найдет», попросту не хватает (однако ниже мы приведем примеры, когда сказанное оказывается не совсем верным). По такому принципу работает, например, широко распространенный мембранный материал «GORE-TEX®», а также ряд его менее известных клонов (поскольку оригинальный патент на этот материал был получен в США еще в 1970-е гг., то сегодня его действие закончилось, и любой изготовитель имеет полное право выпускать похожие по принципу действия мембраны). Изготавливаются такие мембраны из флюорополимеров наподобие хорошо известного тефлона и близких к нему соединений и имеют

#### Пути выхода через одежду испаряющейся с поверхности тела влаги



#### Принцип работы мембраны типа «GORE-TEX®»



около полутора миллиардов пор на каждый квадратный сантиметр своей поверхности. Недостаток такого типа одежды вполне очевиден: микроскопические поры со временем забиваются (морской солью, человеческими испарениями, нерастворившимися частичками моющих средств при неаккуратной стирке), что снижает способность материала отводить влагу от поверхности кожи – одежда перестает «дышать» (хотя лучшие образцы микропористых мембранных материалов имеют специальное покрытие, призванное от-

#### Полная структура мембранной яхтенной одежды:

1 – пары проходят сквозь одежду, 2 – дождь, снег и ветер – задерживаются, 3 – наружный материал (основа), 4 – мембрана, 5 – подкладка



Капли воды остаются на мембране, а пар проходит сквозь нее







У самых различных типов мембранной одежды ее общая структура одинакова

талкивать загрязняющие частицы)\*. Кроме того, тонкая пористая мембрана очень чувствительна к любым повреждениям, в силу чего требует дополнительного покрытия (чаще всего – полиуретаном), что тоже снижает ее гигиенические качества. Тем не менее сегодня «GORE-TEX®» и его клоны составляют львиную долю основы для производства «второй кожи» современного яхтсмена.

Другая технология, применяемая для создания дышащей водонепроницаемой одежды, сравнительно молода, гораздо менее известна (и, надо отметить, куда более изощрена в технологическом плане – возможно, именно поэтому клонов у нее практически не наблюдается; впрочем, тут еще играют роль и патентные ограничения), но успела завоевать определенную популярность. Выпускаемый по этой технологии в Германии дышащий материал (под торговой маркой «SumraTex») уже несколько потеснил на рынке своего именитого соперника из Нового Света. Здесь для отвода влаги применяется не пористый, а напротив, сплошной (с формальной точки зрения) материал. Именно сплошной, на вид более всего напоминающий исключительно тонкую (не более 0.01 мм), но прочную пленку из сополимера: полиэтилентерефталата с добавлением полиэфира – одного из самых гидрофильных веществ среди известных науке и применимых в изготовлении одежды. Вся полиэтилентерефталатная пленка-основа насквозь пронизана длинными сложными молекулами гидрофильных полиэфиров, образующих своеобразные цепочки, располагающиеся в ну-

три пленки. Молекулы полиэфиров как бы «зацепляют», всасывают в себя кластеры водяного пара (примерно также, как это делают спирты), образуя кратковременные химические соединения (через водородную связь) с молекулами воды. Они последовательно «передаются» от одной полиэфирной молекулы к другой, пока не оказываются с наружной стороны мембраны, после чего влага уже свободно испаряется с ее поверхности. Обратный процесс – проникновение воды с наружной стороны материала внутрь невозможен по описанной ранее причине: кластеры воды слишком велики и не способны продвинуться вглубь по полиэфирным цепочкам. Таким образом, говоря о материале «GORE-TEX®» и его аналогах правильнее иметь в виду микропористую гидрофобную мембрану, о «SumraTex» – сплошную гидрофильную мембрану.

Разница между первым и вторым случаем, как видим, достаточно солидная: в мембрану «GORE-TEX®» испарения человеческого тела попадают под воздействием исходящего от кожи тепла, после чего «проталкиваются» сквозь поры; в мембрану «SumraTex» влага же как бы всасывается. Благодаря отсутствию пор «SumraTex» не боится загрязнений и моющих средств – этот материал можно стирать практически любыми современными веществами. Немалым достоинством является и его непревзойденная эластичность – пленка «SumraTex» имеет растяжимость 300% (для сравнения, например, женские чулки и колготки – одни из самых эластичных на сегодняшний день предметов одежды – обычно имеют

растяжимость по диаметру порядка 85%), что позволяет конструкторам без затруднений обходить «проблемные места» (колени, локти), требующие хорошей эластичности. Зато возникает вопрос – насколько хорошо материал способен отводить от кожи влагу?

Какими же показателями можно характеризовать основные качества современной яхтенной одежды и составляющих ее основу мембран? Их несколько:

- показатель воздухопроницаемости  $A_p$  (измеряется в литрах на метр квадратный за секунду, показывает сколько литров воздуха проходит за секунду сквозь квадратный метр ткани при том или ином избыточном давлении – обычно берется давление 100 или 200 Па;  $A_p = V \times S / t$ , где  $V$  – объем воздуха, л,  $S$  – площадь пронизываемой поверхности, м<sup>2</sup>,  $t$  – время, с);

- термосопротивление, обозначаемое в зарубежной документации индексом  $R_{ct}$  (resistance to conductive heat transfer; величина показывает, сколько ватт тепловой энергии нужно затратить, чтобы с обратной стороны теплоизолирующей поверхности ее температура изменилась на столько-то градусов;  $R_{ct} = S \times T / W$ , где  $T$  – разность температур, К,  $W$  – мощность, Вт);

- сопротивление паропроводности  $R_{et}$  (resistance to evaporative heat transfer, показывает, сколько ватт тепловой энергии нужно затратить, чтобы с обратной стороны мембраны давление изменилось на столько-то паскалей;  $R_{et} = S \times P / W$ , где  $P$  – давление, Па);

- водопроницаемость (обычно измеряется в мм водяного столба и показывает, давление столба какой высоты выдерживает мембрана).

Существует и еще один способ оценки паропроводности материала:

\* Так, специалисты компании «Gore-Tex» в телефонной беседе с сотрудниками редакции заявили о наличии специального грязеотталкивающего покрытия, предотвращающего забивания пор мембраны в течение всего срока службы одежды. В то же время вопрос о наличии таких покрытий на многочисленных клонах «Гортекса» остается открытым. – *Прим.ред.*



измеряется количество водяных паров (в граммах), прошедших сквозь один квадратный метр мембраны за 24 ч.

Требования к основным параметрам защитной одежды сегодня определяются европейским стандартом EN 342:2400 Protection against cold (тут надо оговориться, что далеко не всякий производитель яхтенной одежды изготавливает и маркирует ее по этому стандарту: например, известная компания «Gill» часто отмечает класс защиты своей верхней одежды группой из нескольких точек – от одной до пяти). Он устанавливает три класса для каждого из двух важнейших параметров: воздухопроницаемости и сопротивлению паропроводности по степени соответствия своим требованиям. В нашивках на одежде класс воздухопроницаемости обозначается буквой «Y». Класс 1 (Y 1) означает одежду с наихудшими показателями, имеющую крайне слабую ветрозащиту:  $A_p > 150$  л·м<sup>2</sup>/с. Второй класс (Y 2) означает одежду с улучшенной ветрозащитой, у нее показатель  $A_p$  – от 20 до 150. Наивысшим уровнем защиты от пронизывающего ветра обладает одежда третьего (Y 3)

класса, имеющая величину  $A_p < 20$  (все цифры даны для давления 100 Па). Однако этот стандарт уже устаревает, и в новой его версии для соответствия высшему классу ветрозащиты одежде (уже в скором времени) придется иметь показатель воздухопроницаемости менее 5 л·м<sup>2</sup>/с (опять же при давлении 100 Па).

Буквой «Z» в этом же стандарте обозначается показатель breathability, иными словами, дышащие свойства одежды. Под ним в данном случае понимается сопротивление паропроводности  $R_{ct}$ . Здесь точно так же существуют три класса: для одежды самого высокого класса (Z 3) величина  $R_{ct}$  не должна превышать 6 Па·м<sup>2</sup>/Вт. Менее гигиеничная одежда второго класса (Z 2) имеет  $R_{ct}$  от 6 до 13, наконец, у одежды самого низкого, первого класса (Z 1)  $R_{ct} > 13$  (но обычно меньше 20). Одежда, имеющая показатель  $R_{ct}$  свыше 20, не рассматривается в качестве защитной и дышащей.

Третьим параметром по этому стандарту является термосопротивление  $R_{ct}$ , обозначаемое в нем буквой «X». Здесь стандарт предписывает наносить на одежду реальную величину этого параметра – например, так: 0.360 (при этом большая величина является лучшим показателем). Отметим еще раз, что стандарт EN 342 относится не только (и даже не столько) к яхтенной одежде: туристы, альпинисты, горнолыжники тоже выбирают себе «вторую кожу», ориентируясь на цифры, указанные на скромной нашивке со стилизованной снежинкой в шевроне.

Водонепроницаемость обозначается в высоте водяного столба, кото-

рому способна противостоять одежда. Сегодня по европейским стандартам одежда считается водонепроницаемой, если этот параметр равен 1500 мм. Следует отметить, что такая величина показывает способность верхней одежды противостоять несильному дождю, но никак не соответствует суровым морским требованиям. Сильные брызги, на скорости буквально «вбиваемые» в поверхность яхтенных костюмов, требуют гораздо более высоких значений. Особенно, если добавить к этому дополнительное давление, возникающее от движений человека, сминаний костюма и т.д. Тут к силам поверхностного натяжения (которым мембрана успешно противостоит) могут добавляться куда большие усилия. Сегодня вряд ли можно считать действительно непромокаемой яхтенную одежду, имеющую этот параметр меньше, чем 10 000 мм. А для одежды, предназначенной работать в суровых условиях океанских походов и гонок, эту величину желательно умножить, как минимум, на два (а то и на три).

Однако все вышеописанные показатели определяются не только одними мембранами. Последние сами по себе являются нежными и тонкими пленками, в силу чего не могут существовать без какой-либо несущей основы, роль которой чаще всего выполняют нейлоновые ткани. И в следующем номере мы рассмотрим конструкцию яхтенной одежды в целом (не только мембран, но и верхних слоев, сеток и подкладок), а также разберемся с маркировкой, используемой основными мировыми производителями.

*Окончание следует*

Защита швов у непромокаемой одежды – важная задача технологов:



Принцип работы мембраны типа «Gore-Tex»

