

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕГРУЗОК НА ОРГАНИЗМ ЛЕТЧИКА

СКОРОСТЬ, УСКОРЕНИЯ, ПЕРЕГРУЗКИ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Скорость движения - один из основных показателей развития транспортных средств. Авиация в этом отношении имеет огромное преимущество по сравнению с другими видами транспорта. Одновременно с большой скоростью полеты на воздушных судах сопровождаются воздействием на человека механических факторов, связанных с физическими закономерностями скоростного перемещения в пространстве.

Ускорения и перегрузки, будучи следствием изменения скорости, достигают таких величин, от которых необходима эффективная защита в целях обеспечения безопасности полетов. Разработка и применение средств и методов сохранения работоспособности и повышения переносимости человеком механических факторов не представляется возможной без предварительного изучения влияния на организм и определения допустимых пределов в конкретных условиях их возникновения.

Скорость, как известно, не оказывает на организм непосредственного влияния. Примером может служить отсутствие каких-либо ощущений при движении с постоянной скоростью в наземных транспортных средствах, самолетах и космических кораблях, а также от вращения земли со скоростью 940 км/ч и ее движения по орбите примерно со скоростью 30 км/с.

Сказанное справедливо в тех случаях, когда организм при движении защищен от соприкосновения со средой, внутри которой происходит движение. Так при перемещении относительно земной поверхности человек должен быть защищен от действия встречного потока воздуха. При движении в воде должен быть огражден от соприкосновения с ней. Только в таких условиях равномерная скорость может быть индифферентным раздражителем и не будет вызывать соответствующих реакций.

Влияние скорости, однако, не безразлично и в тех случаях, когда человек вынужден управлять движением. Он должен реагировать на меняющуюся обстановку в окружающей среде, воспринимать и опознавать встречные предметы, а в случае необходимости изменять направление движения. При этом, чем больше скорость, тем труднее контролировать перемещение в пространстве. При подаче какого-либо регулирующего сигнала или возникновении препятствия необходимо выполнение соответствующих управляющих действий, требующих затраты определенного времени. Как известно, для самой простейшей ответной реакции человека (например, нажатие на кнопку при условии, что она находится под кистью руки), необходимо время не менее 0,2 с. А если задача усложняется переносом руки, необходимостью принятия решений, выбором последовательности или повторяемости действий, то время реакции неизбежно увеличивается. Кроме того, ко времени, необходимому для выполнения управляющих действий, будет прибавляться время, необходимое для изменения характера движения управляемого аппарата, а в данном случае самолета.

При посадочной скорости полета 300 км/ч, самолет проходит за каждую секунду путь, примерно равный 85 м. Если на этой скорости пилот получит сигнал или обнаружит препятствие на расстоянии 40-50 м, то для обеспечения безопасности полета он должен принять решение и выполнить управляющие действия в пределах 0,5 с, так как через этот промежуток времени самолет будет на уровне сигнала или препятствия. Следовательно, в приведенном примере расстояние 40-50 м будет так называемой «слепой зоной», в пределах которой человек по своим психофизиологическим показателям не может активно контролировать управление движением. С увеличением скорости полета расстояние «слепой зоны» за тот же промежуток времени будет больше (пропорционально скорости движения). Увеличение скорости полета уменьшает время реагирования при управлении полетом или увеличивает расстояние, на котором требуется восприятие и опознавание сигнала и выполнение действий. В случае встречного движения «слепая зона» суммируется пропорционально скорости полета каждого из самолетов.

Известно, что восприятие и опознавание сигналов и предметов на расстоянии зависит от времени суток, освещенности, погодных условий, характера и размера сигнала или предметов, их контраста с фоном и т. д. Поэтому для повышения безопасности полетов современных и перспективных скоростных самолетов осуществляется разработка и применение автоматических приборов, помогающих органам чувств человека или в определенной мере их заменяющих.

Движение всех транспортных средств, в том числе самолетов, в зависимости от взлета, посадки, режима работы двигателей, маневров в полете и т. д., осуществляется с неравномерной скоростью.

Изменение скорости по величине или направлению в единицу времени называется ускорением.

Единицами отсчета ускорений могут быть сантиметр или метр в секунду в квадрате (см/с^2 или м/с^2). В современной литературе принято обозначать ускорения единицами g, кратными ускорению свободно падающего тела ($9,81 \text{ м/с}^2$).

АВИАЦИОННАЯ МЕДИЦИНА

В случае прямолинейного движения изменение скорости, т. е. ускорение или торможение в единицу времени на отрезке пути, определяется отношением разности скоростей (V_i, V_0) ко времени (t) или разности их квадратов к удвоенному пути

Криволинейное движение по окружности с радиусом R в плоскости, перпендикулярной оси вращения, может быть равномерным или неравномерным. При равномерном движении на тело действует центростремительная сила, определяющая движение по окружности. В направлении к центру окружности в зависимости от скорости возникает центростремительное ускорение.

Неравномерное движение связано с действием силы, направленной касательно окружности. Примером такого движения может быть разгон или остановка центрифуги. В этом случае центростремительное ускорение суммируется с ускорением тангенциальным. Тангенциальное ускорение может быть определено математически как составляющее равнодействующую ускорения, вызванного центростремительной и касательной силами. Вращение тел вокруг оси, проходящей внутри тел, как правило, оценивается по угловой скорости. Изменение угловой скорости движения вызывает угловое ускорение, измеряемое в градусах или радианах в секунду в квадрате ($\text{град}/\text{с}^2$ или $\text{рад}/\text{с}^2$), пропорционально разности угловых ускорений в единицу времени

В тех случаях, когда под действием внешней силы тело, совершая равномерное криволинейное движение по отрезку окружности, одновременно удаляется от центра окружности или приближается к нему, возникает так называемое добавочное или поворотное ускорение. В случае действия такого ускорения на организм человека его называют ускорением Кориолиса по имени автора, впервые его изучившего.

Наибольшая величина ускорения Кориолиса при прочих равных условиях будет при отклонении тела от оси вращения на угол 90° . Если же изменение радиуса вращения происходит строго по оси вращения, т. е. угол равен нулю, то дополнительное ускорение будет суммироваться с центростремительным.

В авиационной практике ускорение Кориолиса может возникать при отклонениях верхней части туловища и головы пилота в момент изменения направления полета, в этих случаях у лиц со слабой статокINETической устойчивостью могут возникать вестибулярные расстройства. Устойчивость пилотов к ускорениям Кориолиса проверяется во время врачебно-лётной экспертизы специальными пробами на кресле Барани.

При всех видах ускорений механические силы, вызывающие дополнительную скорость, передают телу кинетическую энергию, которая по законам механики не безразлична для внутренних связей движущегося тела.

Инерция - это свойство тел сохранять свое состояние покоя или прямолинейное равномерное движение. Чем больше сила, вызывающая нарушение первоначального состояния тела, тем больше поглощается им энергии, а, следовательно, сильнее проявляется инерция

Инерция, как и гравитация, имея свойство поля сил, возникает непосредственно в каждой единице массы. Внутри тела, в особенности, если оно не однородно, происходит различная степень смещения его частей, возникает механическое напряжение связей и различная степень деформации

Все разрушения движущихся тел преимущественно при встрече препятствий являются следствием инерции, возникающей при ускорении или торможении

В авиационной практике влияние инерции на конструкцию самолетов в результате действия аэродинамических сил и тяги двигателей принято называть перегрузкой. Если к движущемуся телу будет приложено две или несколько сил одновременно, то ускорения будут приложены по их равнодействующей, а перегрузка - в строго противоположном направлении. Этим объясняется смещение незакрепленных предметов внутри транспортных средств в противоположном изменению скорости на протяжении (при резком торможении - вперед по направлению движения, а при увеличении скорости или при поворотах - в противоположном движению направлении)

Параметры перегрузки - величина, скорость нарастания и продолжительность - пропорциональны действующей на тело внешней силе. Отсюда следует, что для полной оценки влияния ускорений и перегрузок необходимо знать их продолжительность и скорость нарастания, т. е. третью производную пути по времени, обозначаемую для ускорений в метрах в секунду в кубе ($\text{м}/\text{с}^3$), а для перегрузок - единицей в секунду ($1/\text{с}$). В зависимости от скорости нарастания перегрузка может быть плавно увеличивающейся или резко возрастающей (ударной). Скорость нарастания перегрузок определяется путем деления максимальной величины перегрузки на время ее достижения:

На схеме Рис. 1 показана кривая изменения перегрузки по времени.

АВИАЦИОННАЯ МЕДИЦИНА

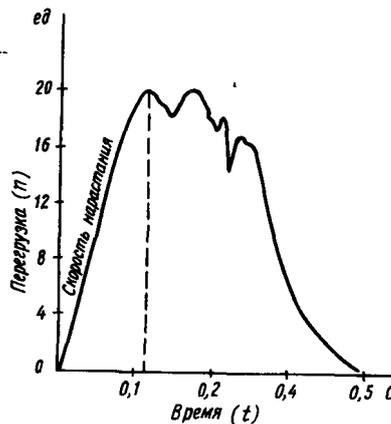


Рис. 1 Изменение перегрузки - по времени

Площадь этой кривой характеризует величину энергии, передаваемой ускоряемому телу.

Многочисленные исследования показывают, что переносимость человеком перегрузок зависит не только от их параметров, но и от целого ряда других условий. Поэтому оценку уровней устойчивости человека к перегрузкам необходимо рассматривать с позиций биомеханики, т. е. параллельно учитывать как физические, так и биологические процессы, влияющие на механическое напряжение и состояние структур тела, физиологические и психологические изменения и условия воздействия механической энергии на организм. Такая оценка влияния перегрузок на организм человека должна охватывать следующие показатели: величину перегрузки, ее продолжительность, скорость нарастания и спада, время пика, положение тела, направление вектора перегрузки, средства противоперегрузочной защиты, условия окружающей среды, индивидуальную устойчивость, мотивацию, физическую подготовку и тренировку.

Организм человека представляет собой сложную биологическую систему, а не однородную массу. Ткани тела обладают не одинаковой упругостью, вязкостью, эластичностью, имеются воздухоносные и заполненные жидкостью полости, внутренние органы имеют различную плотность и особенности крепления, части тела разнообразны по размерам, форме и тяжести. Отсюда следует, что воздействие перегрузки на живой организм вызывает чрезвычайно разнообразные механические изменения и степень физического напряжения органов и тканей. Одни ткани реагируют сжатием, другие растяжением, третьи - смещением, кручением, изгибом и т. д., вызывая в организме различные функциональные изменения. Естественно, что наибольшей деформации при перегрузках подвергаются ткани и органы, которые имеют большую массу и эластичность, а механическое напряжение испытывают в большей мере опорные элементы тела. В случае превышения прочности отдельных тканей, органов, опорных структур, их креплений неизбежно возникает их повреждение. Степень повреждения, так же как и изменение или нарушение физиологических функций в значительной мере зависит от физических характеристик перегрузки.

Величина перегрузки определяет отношение величины механического напряжения структур ускоряемого тела к величине напряжения в состоянии покоя. Покоящееся на опоре тело испытывает действие силы земного притяжения и силы сопротивления опоры, в результате чего его структуры испытывают напряжение. Величина механического напряжения покоящегося тела принята за единицу и является уровнем отсчета. Измерить механическое напряжение структур живого организма практически невозможно, поэтому для определения величины перегрузки используют другие сопряженные величины - ускорение, силу, вес.

Учитывая биомеханические особенности воздействия перегрузок на организм и значение многих факторов, влияющих на переносимость, практически исключается возможность точного разграничения их влияния в зависимости от конкретных величин. Поэтому в общем виде величины перегрузок могут быть разделены на три группы:

- малые и средние - заведомо переносимые при широком диапазоне различий в других параметрах;
- большие - переносимые при определенных условиях или оптимальных величинах других характеристик;
- критические - находящиеся на грани патологических последствий и выживаемости.

В живом организме, помимо чисто физических процессов, в ответ на механическое воздействие возникают физиологические реакции, направленные на уравновешивание изменившихся условий. Влияние этих реакций на общее состояние организма, безусловно, будет усиливаться при увеличении продолжительности воздействия перегрузки.

Общепринятой классификации ускорений по продолжительности не существует. Поэтому, вероятно, следует различать три временные группы перегрузок:

АВИАЦИОННАЯ МЕДИЦИНА

- длительные - воздействующие на организм секунды или минуты в пределах малых и средних величин;
- кратковременные - действующие десятые доли секунды, которые при использовании средств защиты могут достигать сравнительно больших величин;
- мгновенные - исчисляемые в сотых долях секунды или в миллисекундах.

Кратковременные перегрузки приближаются к действию внешних сил и характеризуются преимущественно локальным эффектом. Мгновенные перегрузки полностью утрачивают свойство поля сил, практически отсутствует их время действия, имеется только пик нарастания, представляющий собой толчок, удар. Повреждающее действие таких перегрузок воспринимается поверхностью тела и распространяется вглубь него в виде волны, подобно удару движущимся телом по неподвижному.

Оценка мгновенных перегрузок по их величине, вероятно, отличается значительной неточностью. Поэтому целесообразно их величину, т. е. степень механического напряжения, определять по мощности, затрачиваемой механической энергии в единицу времени.

Основным результатом воздействия кратковременных и мгновенных перегрузок являются микро- и макроструктурные изменения. Степень травматических повреждений при прочих равных условиях у одинаковых перегрузках зависит от площади приложения механических сил. Экспериментально доказано, что чем больше участок тела, на который воздействует сила, тем выше устойчивость человека к перегрузкам. Причиной этого является меньшее удельное давление на единицу поверхности тела. Существенное значение имеют и анатомо-физиологические особенности того участка тела, через который воспринимается перегрузка.

Механическое напряжение структур ускоряемого тела зависит от скорости нарастания перегрузки. Чем больше скорость нарастания, тем быстрее возникают изменения, вызываемые перегрузкой. Отсюда вытекает ее биологическое значение как адекватного раздражителя механорецепторов в организме человека. При кратковременных и мгновенных перегрузках большая скорость нарастания всегда усиливает болевой и травмирующий эффект их действия.

Классификация перегрузок по скорости нарастания вызывает справедливые возражения, так как отсутствуют достаточно убедительные факты, на основании которых можно было бы систематизировать скорость нарастания перегрузок по физиологическим показателям.

Ориентировочно все разнообразие перегрузок, встречающееся в авиации, можно разделить на три категории по скорости их нарастания:

- перегрузки, медленно нарастающие - единицы в секунду;
- перегрузки, быстро нарастающие - десятки единиц в секунду;
- перегрузки ударные - сотни, тысячи единиц в секунду.

Следует отметить, что когда речь идет о влиянии перегрузки на живой организм, то для полной характеристики механического воздействия всегда необходимо указывать не только на величину перегрузки, но и на ее продолжительность и скорость нарастания. Только все три параметра дают полное представление о перегрузке как факторе полета. Для оценки переносимости перегрузки человеком необходимо и точное указание ее направления по отношению к телу.

Различная переносимость перегрузок в зависимости от направления к продольной оси тела человека породила многообразие вариантов их систематизации. За базу отсчета во всех вариантах принимается продольная ось тела. Однако в дальнейшей детализации отмечаются расхождения как в подходах обозначений, так и в терминологии. Это приводит к неточностям воспроизведения вектора перегрузки, действующей в полете или в эксперименте.

Наиболее полная классификация перегрузок по направлению действия предложена Брауном с соавторами в 1966 г. Она представляет трехплоскостную градусную систему координат с отсчетом углов по крену, тангажу и рысканию. Основным недостатком этой системы является сложное нахождение точек отсчета нулевых значений.

В 1971 г. А.В. Иванов и И.А. Цветков данную систему уточнили, предложив за базу отсчета учитывать не градусную сетку окружности, а сферические углы, равные 90° между пересечением всех трех плоскостей - сагитальной, фронтальной и горизонтальной, проходящих через центр тяжести. В случае несовпадения вектора перегрузки с общепринятыми осями X, Y и Z, совпадающими с осями самолета, было предложено применять двойную терминологию. Вектор перегрузки, расположенный выше уровня горизонтальной плоскости, должен определяться направлением голова - таз, а вектор в сферических углах ниже горизонтальной плоскости - направлением таз - голова. В горизонтальной плоскости вектор поперечной перегрузки имеет направления спина - грудь, грудь - спина или бок - бок (Рис. 2).

АВИАЦИОННАЯ МЕДИЦИНА

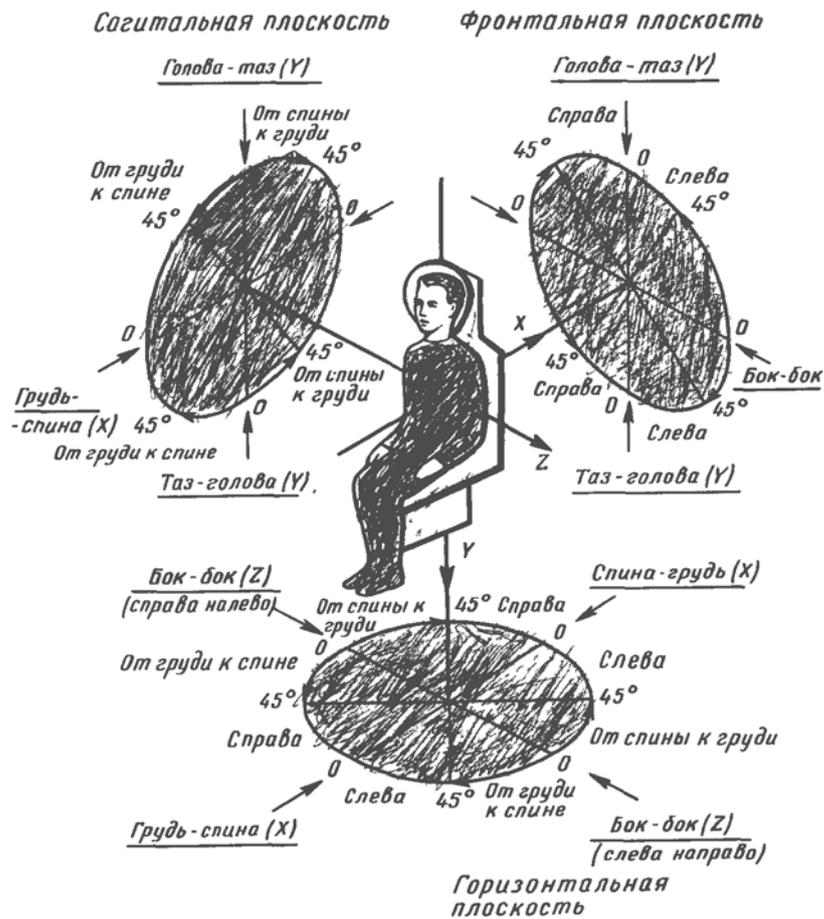


Рис. 2 Направления перегрузки в трехплоскостной системе координат

В условиях полета, например при аварийной ситуации, перегрузка может быть направлена под любым углом к продольной оси тела человека. Данная система позволяет оценить все возможные положения с указанием угла отклонения от продольной или поперечной осей тела, например, перегрузка в направлении голова - таз под углом 17° справа налево или перегрузка в направлении грудь-спина под углом 15° от головы к ногам. Такое обозначение точно воспроизводит вектор перегрузки. Зная величину перегрузки и рассматривая ее как равнодействующую геометрической суммы продольной и поперечной перегрузок, легко их определить по правилу параллелограмма. Этот метод позволяет оценить наиболее существенные изменения в организме в результате действия наибольшей составляющей, так как пределы переносимости перегрузок в продольном и поперечном направлениях сравнительно хорошо изучены.

По переносимости человеком все перегрузки, учитывая их биомеханическое воздействие, подразделяются на пороговые, оптимальные, допустимые, переносимые, повреждающие и летальные.

В летной практике встречаются различные по величине, продолжительности, скорости нарастания и направлению перегрузки. Кратковременные перегрузки при изменении скорости прямолинейного движения достигают наибольших величин при осложненных взлете или посадке, при прыжках с парашютом и катапультировании. Длительные перегрузки чаще встречаются при изменении направления полета. На скоростных самолетах такие перегрузки могут достигать больших величин, сопровождаясь изменением работоспособности членов экипажа, а, следовательно, и быть причиной нарушения безопасности полетов.