

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ ПОЗВОНОЧНИКА ЧЕЛОВЕКА ПРИ АНАЛИЗЕ ПЕРЕГРУЗОК КАТАПУЛЬТИРОВАНИЯ

К. В. Деев,
ГЛИЦ им. В. П. Чкалова

В статье рассмотрен вопрос определения вероятности травмирования позвоночника человека при катапультировании путем применения показателя динамической реакции позвоночника при испытаниях катапультирных установок.

Безопасность применения катапультирной установки (КУ), как средства спасения, оценивается в процессе наземных испытаний и при реальных катапультированиях, как в испытаниях, так и при авиационных происшествиях.

С целью обеспечения безопасного покидания самолета экипажем КУ должна удовлетворять целому ряду требований, одним из которых является обеспечение допустимых для человека перегрузок, времени их действия (продолжительности импульса), скорости их нарастания и угловых скоростей. В соответствии с нормативными документами перегрузки, действующие на человека при катапультировании, при средней скорости их нарастания не более 250 ед./с, не должны превышать максимального пикового значения 18 ед. в направлении «голова – таз» при времени действия не более 0,25 с. При этом предполагается, что если перегрузки, полученные в экспериментах, укладываются в заданные пределы, то их действие на человека опасности не представляет.

Однако анализ последствий катапультирований летного состава, имевших место в отечественной и зарубежной авиации, показывает, что предельно допустимые перегрузки, определяемые в настоящее время при испытаниях по существующим методикам, не исключают получение летным составом травм позвоночника даже при соблюдении необходимых условий

безопасного катапультирования (принятие требуемой изготовочной позы, фиксации таза, плечевого пояса и т.д.).

С учетом того, что КУ имеет угол установки в кабине 17 – 30 град к вертикали, при выходе КУ в воздушный поток происходит перераспределение перегрузок, действующих на человека. Так при угле установки сиденья 30 град дополнительная перегрузка по оси Y может составлять до 12 ед. при скорости полета $V_i = 1300$ км/ч. Кроме того, на летчика, при выходе КУ в воздушный поток, действуют продольные и боковые нагрузки, обусловленные вращением КУ в потоке.

В связи с этим особую важность приобретает проблема исследования составляющей перегрузки, действующей вдоль позвоночника.

Систему «кресло – человек» в механическом смысле можно представить как систему отдельных масс, соединенных между собой упругими связями. Силы, возникающие при катапультировании, вызывают динамическое взаимодействие отдельных масс внутри этой системы с определенным запаздыванием во времени и соответствующим накоплением энергии в упругих элементах системы с последующим высвобождением ее, приводящее к увеличению пиковых перегрузок. В результате в системе «кресло – человек» перегрузка, действующая на человека при катапультировании, на основании опыта испытаний катапультирных кресел, может значительно превышать перегрузку, замеренную на жестком каркасе сиденья. Это указывает на необходимость учета при испытаниях КУ эластичности позвоночника человека, упругих связей между телом человека и КУ, то есть динамики системы «кресло – человек».

Деформация позвоночника при катапультировании под воздействием сил, действующих вдоль его оси, описывается математической моделью. Параметры модели определены по результатам проведенных экспериментальных исследований.

Математическую модель системы «кресло – человек» в механическом смысле можно представить как систему отдельных масс, соединенных между собой упругими связями. Схема этой системы представлена на рис. 1.

Основным параметром математической модели позвоночного столба человека в процессе катапультирования является величина максимальной деформации – δ_m . Ее значение берется за основу при определении собственной частоты (ω_0) позвоночника. Показатель Y динамической реакции (ПДР) позвоночника человека рассчитывается по формуле:

$$Y = \frac{\omega_0^2 \delta}{g},$$

где: $\omega_0^2 = \frac{c}{m}$ - собственная частота колебаний позвоночника;

c, m – коэффициенты упругости и демпфирования позвоночника, соответственно.

С физической точки зрения ПДР является мерой сжатия позвоночника человека и находится в прямой зависимости от величины силы сжатия. Другими словами, ПДР – это перегрузка, приведенная к центру обобщенной массы, которая нагружает позвоночник.

Уравнение динамики позвоночника может быть выражено в виде:

$$\frac{d^2 Y}{d\tau^2} + 2\rho \omega_0 \frac{dY}{d\tau} + \omega_0^2 Y = \omega_0^2 [n_y(\tau) - 1],$$

где: ρ – коэффициент демпфирования.

Для среднестатистического человека параметры ρ и ω_0 определены экспериментально и составляют: $\rho = 0,224$, $\omega_0 = 52,9$ 1/с.

Общее решение линейного уравнения имеет вид:

$$Y = e^{-\rho \omega_0 \tau} (c_1 \sin \omega_{1,2} \tau + c_2 \cos \omega_{1,2} \tau).$$

Между максимальной величиной ПДР, которая не должна превышать 18 ед., и вероятностью травмирования P_n позвоночника человека при катапультировании существует корреляционная связь. На рис. 2 приведена экспериментальная зависимость $P_n = f(Y)$ для различных типов КУ.

Использование цифровых регистраторов перегрузки катапультирования при испытаниях КУ и соответствующего программного обеспечения позволяет значительно упростить выполнение расчета ПДР по результатам эксперимента.

Зависимость показателя динамической реакции позвоночника летчика для КУ К-36Д-3,5 при угле установки 19 град., полученная с использованием результатов эксперимента при скорости катапультирования 1300 км/ч, приведена на рис. 3.

Характер изменения и параметры вертикальной составляющей перегрузки, действующей на человека при катапультировании, зависят от многих случайных факторов: массы летчика, температуры, скорости полета, партии порохов и т.д. Поэтому при оценке ПДР используют реализацию перегрузки, полученную при проведении летных и стендовых испытаний КУ, ее механизмов и деталей.

Предварительную оценку значения ПДР производят по диаграммам изменения перегрузки, полученным в стендовых условиях при испытаниях энергодатчиков КУ. Наиболее полная оценка значения ПДР и, следовательно, степени травмирования позвоночника в процессе катапультирования на том или ином типе КУ может быть получена только при проведении летного эксперимента.

Разработанная методика учета динамики системы «кресло-человек» была использована при оценке КУ, находящихся в эксплуатации на самолетах ВВС.

Исследования вертикальной составляющей перегрузки, действующей на человека при катапультировании, производились применительно к катапультильным установкам типа КМ-1М, КС-4, КТ-1, КЯ-1, имеющих горизонтальную (парашютную) систему стабилизации и установкам типа К-36, имеющим вертикальную (штанговую) систему стабилизации.

Проведенные исследования показали, что система стабилизации КУ К-36 обеспечивает значительное снижение нагрузки, действующей на

позвоночник человека, что объясняет причину снижения вероятности травмирования летчика при катапультировании по сравнению с КУ типа КМ-1М и др.

Несмотря на то, что максимальное значение, скорость нарастания и время действия перегрузки в летных экспериментах не превышали допустимых предельных значений, характер изменения перегрузки вызывал динамическое сжатие позвоночника человека в процессе катапультирования. Особенно опасны нагрузки, действующие на позвоночник человека в том случае, когда изменение перегрузки совпадает по частоте с собственной частотой позвоночника, то есть в случае резонанса. Величина и характер такого воздействия могут привести к травмированию позвоночника человека с достаточно высокой вероятностью. Динамическое взаимодействие КУ t, c телом человека изменяет диаграмму перегрузки по частоте и амплитуде в неблагоприятную сторону.

Этот вывод подтверждается наличием значительного числа травм позвоночника в случаях использования на катапультирных креслах упругих подушек, катапультировании из самолета в перевернутом полете или при наличии отрицательных перегрузок, а так же в случае покидания самолета при ослабленных поясных ремнях, допускающих образование зазора между сиденьем и телом человека.

На основании изложенного можно предположить, что чрезмерное динамическое нагружение позвоночника летного состава в процессе катапультирования и приводит к травмам позвоночника в реальных условиях аварийного покидания самолетов. Для снижения уровня травм позвоночника необходимо уменьшить степень динамического взаимодействия системы «кресло-человек» с таким расчетом, чтобы максимальное значение ПДР не превышало 18 ед.

Для более объективной оценки вертикальной составляющей перегрузки катапультирования в действующую нормативную документацию, наряду с применяемыми в настоящее время предельными значениями параметров

перегрузки, целесообразно внести требования по показателю динамической реакции.

Методы испытаний и отработки КУ с соблюдением требований по ПДР требуют проведения дополнительных исследований по вопросам разгружающего воздействия воздушного потока на тело человека, но, несомненно, их реализация в практике испытаний будет способствовать повышению безопасности аварийного покидания самолетов боевой авиации.

Таким образом, применение показателя динамической реакции позвоночника как критерия вероятности его травмирования позволяет более точно и всесторонне оценить воздействие перегрузки катапультирования на человека.

Подрисуночные подписи

Рисунок 1. Схема математической модели позвоночника.

m – масса тела человека, кг;

L – длина позвоночника при $n_y = 1$, мм;

δ – величина сжатия (деформации) позвоночника, мм;

$F_{\text{пр}}$ – сила упругости позвоночника, кгс;

$F_{\text{д}}$ – сила демпфирования, кгс;

$F_{(\tau)}$ – сила, создающая ускорение сжатия, кгс.

Рисунок 2. Экспериментальная зависимость вероятности травмирования позвоночника человека (P_n) от максимальной величины ПДР (Y).

Рисунок 3. Перегрузка n_y , действующая на манекен при катапультировании на режиме $H=0$ м, $V=1318$ км/ч. Датчик расположен на крышке сиденья. Стрелкой указано расчетное значение показателя динамической реакции позвоночника.

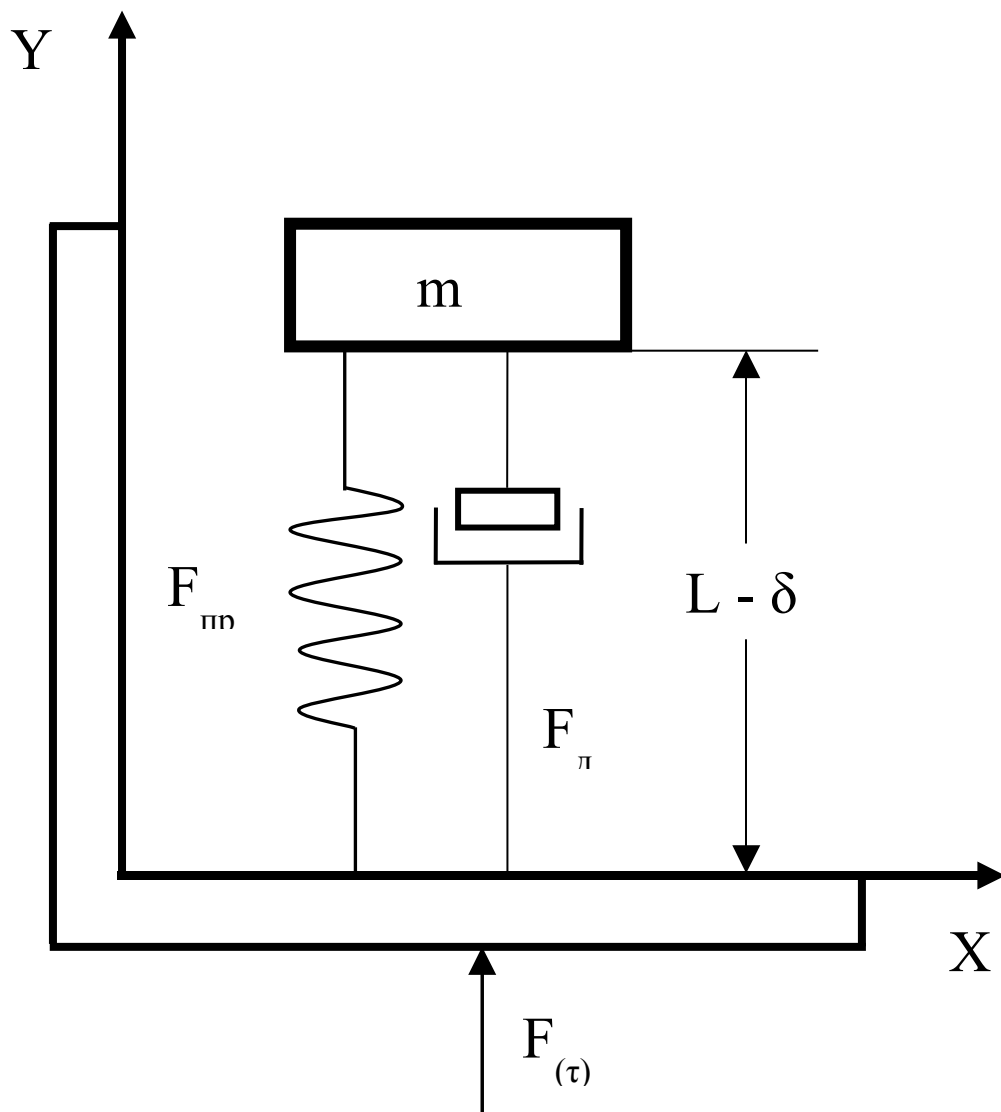


Рисунок 1

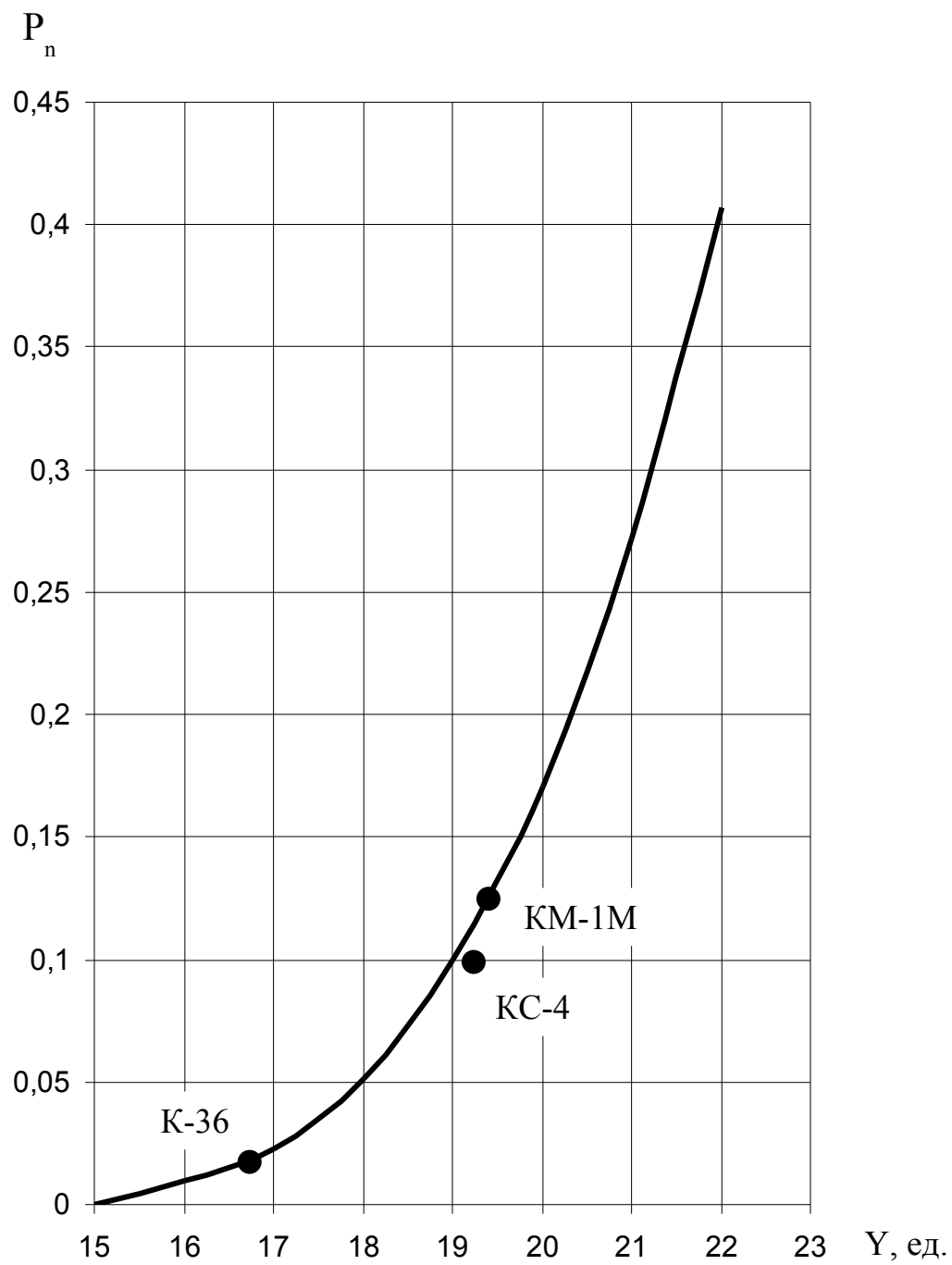


Рис. 2.

n_y , ед.

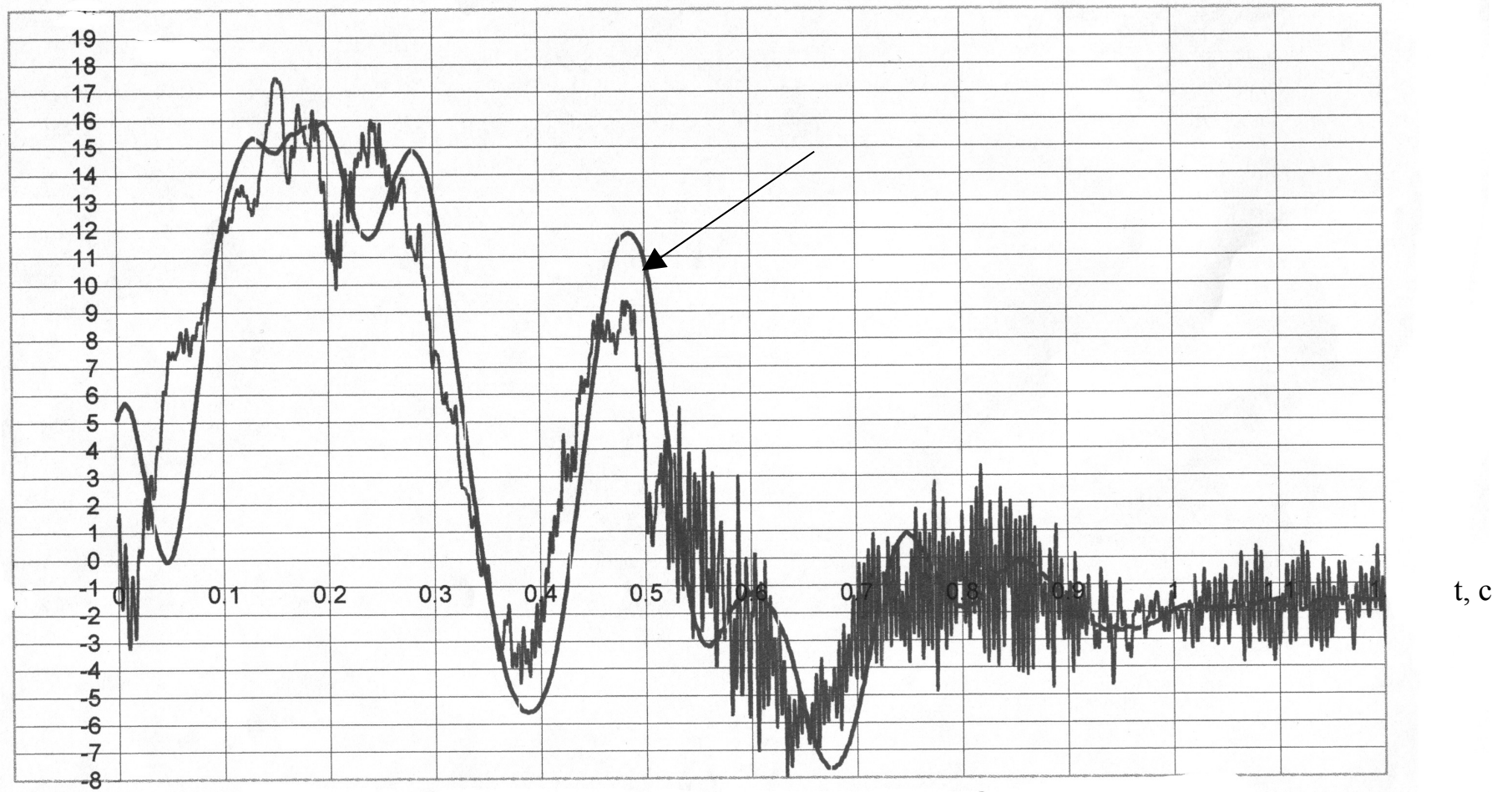


Рисунок 3