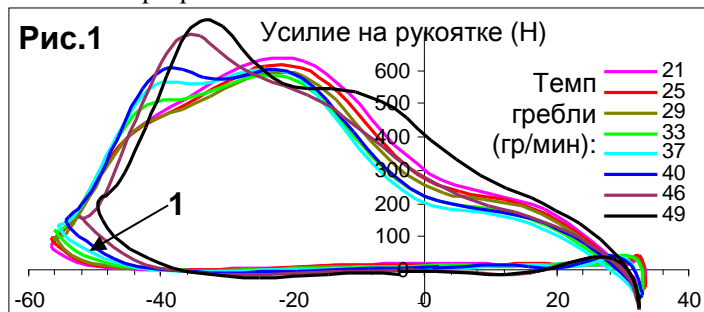


Силы инерции на весле

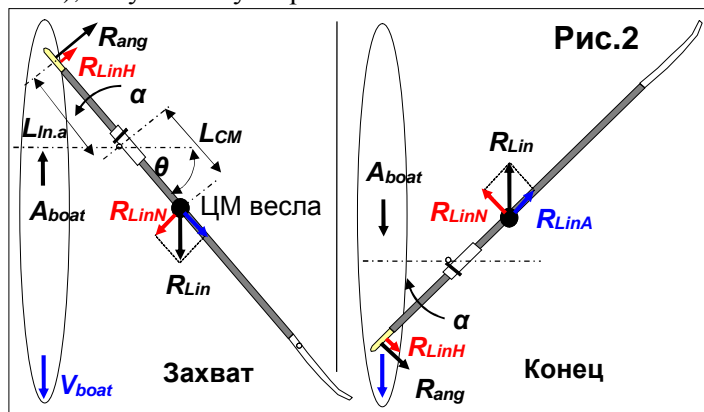
Весло изменяет направление движения достаточно быстро в захвате и в конце проводки, что означает движение с угловым ускорением и создание сил инерции. На Рис.1 (данные гребца LM4-) ясно видно, что усилия на рукоятке возрастают в конце фазы подготовки, перед захватом (1). Чем выше темп гребли, тем выше угловые ускорения и силы инерции: при 21 гр/мин пиковые ускорения в захвате равны 8рад/с² и инерционная сила на рукоятке 51Н, а при темпе 49 они 28рад/с² и 188Н – более чем в три раза выше.



Вращательная сила инерции на рукоятке R_{ang} может быть рассчитана, как отношение ее вращающего момента M и действующего внутреннего рычага весла $L_{in.a}$:

$$R_{ang} = M / L = I \alpha / L_{in.a} \quad (1)$$

где I – момент инерции весла (был измерен, как 3,2кгм для стандартного парного весла и 6,6кгм – для распашного), α – угловое ускорение весла.



Также, сила инерции весла имеет линейный компонент: в захвате лодка движется с отрицательным ускорением, уключина толкает весло назад, а центр массы (ЦМ) весла отставлен от нее наружу (Рис.2). Это создает линейные силы инерции R_{Lin} , приложенные к ЦМ весла и направленные вперед по ходу лодки, которые можно разложить на два компонента: осевой $R_{Lin.a}$ тянет весло наружу и гасится на уключине, нормальный $R_{Lin.n}$ – переносится на рукоятку, где его можно рассчитать, как R_{LinH} :

$$R_{LinH} = m a_{boat} \cos(\theta) (L_{CM}/L_{in.a}) \quad (2)$$

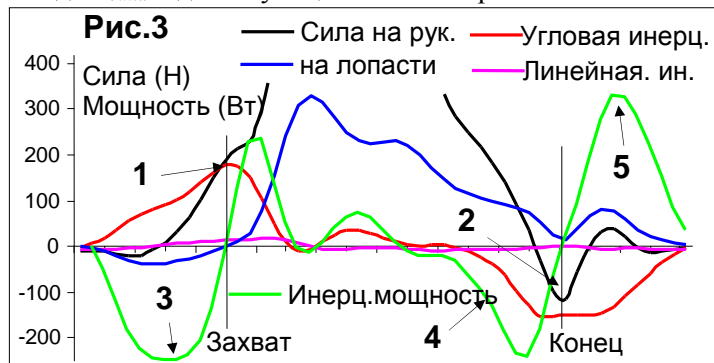
где m – масса весла (1,5кг для обычного парного и 2,5кг – для распашного), a_{boat} – ускорение лодки, θ – угол весла, L_{CM} – расстояние от оси уключины до ЦМ весла (обычно, 0,55м для парного и 0,60 для распашного).

Рис.3 показывает измеренные усилия на рукоятке (гребец LM4- при 49 гр/мин) совместно с силами инерции, рассчитанными по уравнениям 1 и 2. Усилие на лопасти F_{bl} было определено, как разность измеренных

усилий F_h и рассчитанных сил инерции, деленная на передаточное отношение весла:

$$F_{bl} = (F_h - R_{ang} - R_{LinH}) / (L_{in.a} / L_{out.a}) \quad (3)$$

где $L_{out.a}$ – действующий внешний рычаг.



Измеренные и рассчитанные величины хорошо совпадали: в захвате, измеренные усилия на рукоятке были 188Н, угловая инерция – 177Н и линейная – 13Н, т.е. измеренные усилия были всего на 2Н (1%) меньше, чем сумма сил инерции, что можно объяснить аэродинамическим сопротивлением на лопасти, которое помогает веслу изменить направление в захвате. Угловая инерция составляла 93% от суммарной силы, а остальные 7% были связаны с линейной инерцией. В парной гребле, сумма инерции на двух веслах может быть еще выше: при темпе 49гр/мин она была 250Н для углового компонента (из-за более высокого углового ускорения 34 рад/с²) и 25Н для линейного компонента.

В конце проводки, ситуация обратная: силы инерции тянут рукоятку вперед, а гребец должен толкать ее назад, чтобы изменить направление движения. Это создает отрицательный пик на привой усилий (2), но это не тормозящая сила, поскольку лопасть уже над водой в это время. Угловое ускорение в конце несколько ниже, чем в захвате (до 24 рад/с² и в парной гребле, и в распашной), поэтому и силы ниже (180Н в парной и 155Н – в распашной). Ускорение лодки обычно близко к нулю в конце проводки, поэтому невелик и линейный инерционный компонент на весле.

Инерционная мощность (Рис.3) имеет отрицательные пики до -250Вт перед захватом и концом проводки, когда инерционные силы и скорость рукоятки разнонаправлены (мощность есть их произведение), и положительные пики до 330Вт – после захвата и конца. Средняя инерционная мощность за цикл гребка равна нулю, но гребец, тем не менее, должен тратить на нее мышечную энергию, поскольку мышцы не работают, как идеальные пружины. **Негативная энергия инерции перед захватом может растянуть мышцы плеч и рук, что может помочь принять им более выгодное положение для тяги и частично вернуть эту энергию на проводке, используя упругие свойства мышц.** В конце проводки (4), часть негативной инерционной мощности может быть направлена на продвижение, если весло еще в воде. После конца, имеет смысл **минимизировать энергию, затраченную на ускорение весла на подготовку (5): рукоятку следует выталкивать плавно, без рывков.**