

### Вариация скорости лодки

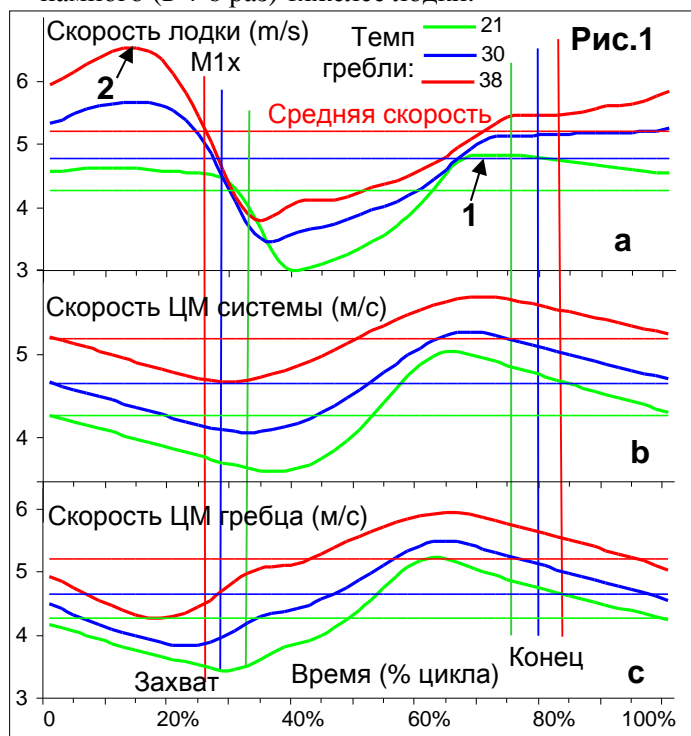
Есть старая и широко распространенная идея о том, что вариация скорости лодки в цикле гребка – основная причина потерь энергии и должна быть снижена для эффективной гребли. Аргументация следующая: Гидродинамические потери энергии (мощность сопротивления  $P_d$ ) пропорциональны кубу скорости лодки  $v$ :

$$P_d = DF v^3 \quad (1)$$

Где  $DF$  - коэффициент сопротивления. Минимальная может быть достигнута при постоянной скорости лодки. Например, при типичных для 1x  $v=5$  м/с and  $DF=3$ ,  $P_d = 375$  Вт. Однако, если скорость лодки будет 4 м/с в течение половины цикла гребка, и 6 м/с – в течении другой половины (та же средняя скорость 5 м/с), то средняя мощность будет  $P_d = (192+648)/2=420$  Вт, что требует на 12% больше энергии. Если мощность гребли останется на том же уровне 375 Вт при аналогичной вариации скорости, тогда средняя скорость лодки будет лишь 4,82 м/с, или 3,7% скорости будут потеряны.

Вариация скорости лодки в гребле имеет лишь две причины:

1. Периодическую природу продвижения. Лопасты производят продвигающую силу лишь в фазе проводки – примерно половину времени цикла гребка. Поэтому, система лодка-гребец ускоряется на проводке и замедляется на подготовке.
2. Значительные перемещения массы гребца, которая намного (в 4-6 раз) тяжелее лодки.



Эти два фактора влияют на вариацию скорости лодки в разной пропорции, которая изменяется с темпом гребли. **На низком темпе (до 24), периодичность продвижения доминирует**, поскольку время подготовки значительно и гребец двигается к захвату медленно и тянет за подножку несильно. Максимальная скорость лодки достигается в конце проводки (Рис.1а, 1), а затем она снижается на подготовке. На высоком темпе (выше 24) движения гребца доминируют: время подготовки значи-

тельно сокращается, поэтому гребец должен двигаться быстрее и тянуть подножку сильнее. Эта сила увеличивает скорость лодки, которая достигает своего максимума перед захватом (Рис.1а, 2), когда скорость банки максимальна и гребец переключается с тяги за подножку на давление в нее (момент M2, НБГ 2013/07).

Коэффициент вариации  $C_v$  был определен, как отношение среднеквадратического отклонения  $\sigma$  к средней величине переменной, в этом случае – скорости лодки  $V_{av}$

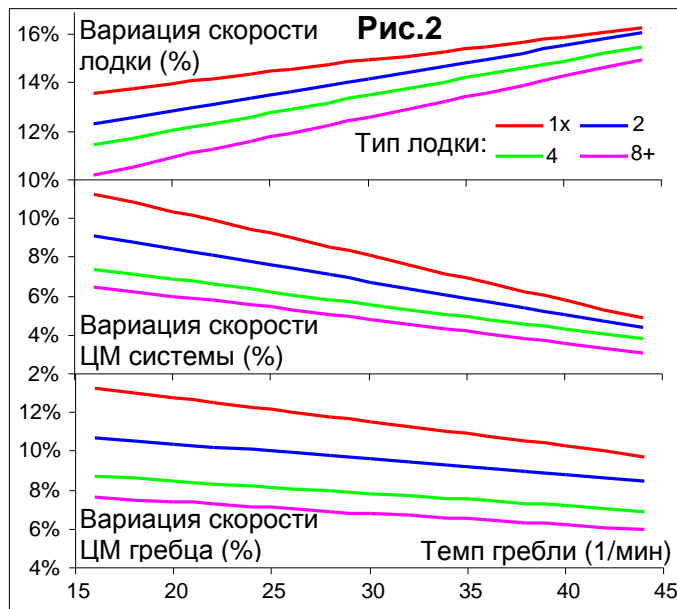
$$C_v = \sigma / V_{av} \quad (2)$$

Было обнаружено, что вариация скорости лодки имеет почти функциональную зависимость с потерями энергии  $E_l$  и скорости  $V_l$  ( $R^2=0.996$ ):

$$E_l = 2.5 C_v^2 \text{ and } V_l = 0.9 C_v^2 \quad (3)$$

Мы провели анализ этих величин на большой выборке измерений с помощью телеметрической системы ( $n=5448$ ) и нашли их несколько ниже, чем в приведенном выше примере:  $C_v$  было в диапазоне 10-18%,  $E_l$  – 2.7-9.0%, и  $V_l$  – 0.9-3.0%.

Чтобы исследовать влияние двух факторов выше, были определены скорости центра массы гребца  $V_{row}$  и всей системы (гребец+лодка+весла)  $V_{sys}$  (Kleshnev, 2010, Рис.1 b, c), а также – тренды их зависимостей от темпа гребли в различных типах лодок (Рис.2). Было обнаружено, что все вариации были выше в мелких лодках и зависели от темпа: вариация скорости лодки возрастала с темпом, а вариации скоростей гребца и системы – снижались.



**При низких темпах, 60-80% (в зависимости от типа лодки) вариации скорости лодки обеспечивается вариацией скорости системы, которая зависит лишь от периодичности продвижения. При высоких темпах, 70-80% вариации скорости лодки зависит от движений гребца – вариации скорости ЦМ гребца.**

На протяжении многих лет, идея асинхронной гребли рассматривалась, как способ устранить оба фактора вариации скорости лодки: сдвиг продвигающих фаз должен был сделать продвижение постоянным, а разнонаправленные движения гребцов должны были

нейтрализовать их влияние на скорость лодки. Значительные усилия были затрачены для воплощения этой идеи (Рис.3, 4, ссылка 3), но без каких-либо практических результатов. Это произошло из-за того, что значительно увеличились инерционные потери энергии. Вместо того, чтобы двигать легкую лодку как в обычной гребле, гребцы должны были двигать свою намного более тяжелую массу, да еще преодолевать ускорение лодки, созданное противоположным движением других гребцов, что сделало это еще менее эффективным, чем гребля в стационарном бассейне/эргометре (НБГ 2010/05). Сохранив 6-8% энергии при меньших колебаниях скорости лодки, гребцы должны были тратить 10-12% дополнительной энергии для преодоления сил инерции. Другими словами, колебания скорости лодки удалось снизить, но колебания скорости ЦМ гребца – возросли (Рис.2), что особенно неэффективно при высоком темпе. Поэтому, асинхронные лодки были медленнее, чем обычные.



Рис.3. Асинхронная восьмерка в Лондонском гребном клубе, 1929 г.



Рис.4. Команда СССР, чемпионки мира - 1979 в четверке рулевой. Лодка была сделана для асинхронной гребли, но команда гребла, как обычно, поскольку так было быстрее.

В технике гребли, идея увеличить скорость за счет более равномерного хода лодки создала множество непродуктивных выводов, таких как, «не останавливать лодку в захвате», «тянуть за рукоятку раньше, чем упираться в подножку» и т.п.

Что на самом деле можно сделать в технике для минимизации потерь энергии на колебания скорости лодки? Два вышеназванных фактора диктуют противоположные решения: увеличение времени продвигающей фазы требует более продолжительного времени проводки и более высокого ритма (отношения времени проводки ко времени цикла гребка). И наоборот, если нужно сделать движения гребца более плавными, следует увеличивать время подготовки и снижать ритм. Поскольку

мы заинтересованы преимущественно в высоком гоночном темпе гребли, где доминирует второй фактор, имеет смысл использовать второй путь. Данные изменений подтверждают тот факт, что при темпах выше 30 ритм  $Rh$  значительно коррелирует с нормализованной по темпу вариацией скорости лодки  $Cvr$  ( $r=0.63$ ,  $Cvr=0.248 Rh + 0.019$ ,  $Cvr$  было получено, как отклонения от линии тренда, чтобы устранить влияние темпа гребли), т.е. **чем короче время проводки и продолжительнее подготовка, тем выше КПД скорости лодки.**

Не все методы снижения времени проводки продуктивны: напр., укорочение длины гребка может снизить мощность, а с ней – и скорость. В общем, акцент должен быть сделан на поддержание более равномерной скорости именно на подготовке, а не на проводке, поскольку скорость лодки значительно выше на подготовке, что создает наибольшее гидродинамическое сопротивление. Вот несколько моментов, которые можно эффективно использовать:

- **Избегайте резкой рывковой тяги за подножку, и старайтесь распределить тянущие усилия на подготовке для создания наиболее равномерной скорости лодки** и снижения потерь энергии.
- **Используйте оптимальное передаточное соотношение весла в соответствии с погодными условиями: короче внешний рычаг весла при встречном ветре. Избегайте слишком тяжелой «передачи», которая делает проводку слишком медленной и заставляет спешить на подготовке** для поддержания темпа гребли. Это требует более сильной тяги за подножку, значительно ускоряет лодку на подготовке и увеличивает колебания скорости лодки.
- По той же причине, **не «засаживайте» лопасть слишком глубоко на проводке, что может привести к разрывам в кривой усилий и сделать проводку продолжительнее.**
- **Акцент усилий на начало проводки с их быстрым возрастанием после захвата – единственный способ ускорить лодку ранее на проводке и сделать ее скорость более равномерной.**

Трудно оценить в цифрах влияние четырех вышеперечисленных моментов, поскольку для этого необходимы специальные эксперименты и/или сложное моделирование. Публикации в этой области (4) предполагают, что эффект не будет очень значительным: лишь несколько секунд можно выиграть в гонке на 2 км за счет оптимизации техники подготовки.

#### *Литература*

1. Kleshnev V. 1999. Propulsive efficiency of rowing. In, Sanders, R.H. and Gibson, B.J. Proceedings of XVII ISBS Symposium, Perth, p. 224-228.
2. Kleshnev, V. 2010. Boat acceleration, temporal structure of the stroke cycle, and effectiveness in rowing. Journal of Sports Engineering and Technology, 233, 63-73.
3. Kunz C.O., Kunz N.M. 2005. Stroke cycle phase shift rowing. US Patent No. 6 881 112.
4. Sanderson B., Martindale W. 1986. Towards optimizing rowing technique. Med. Sci- Sports Exerc, Vol. 18, No. 4, pp. 454-468.