

<http://mbiomorph67.ru/N-84-html/cont.htm>
<http://mbiomorph67.ru/N-84-html/TITL-84.htm>
<http://mbiomorph67.ru/>

<http://sgma.alpha-design.ru/MMORPH/N-84-html/cont.htm>
<http://sgma.alpha-design.ru/MMORPH/N-84-html/TITL-84.htm>
<http://sgma.alpha-design.ru/MMORPH/TITL.HTM>

УДК 612.766; 796.01

СКОРОСТНО-СИЛОВЫЕ КАЧЕСТВА МЫШЕЧНОЙ СИСТЕМЫ СПОРТСМЕНА

© 2024 г. Покатилов А. Е., Попов В. Н., Воронович Ю. В.

Предложено оценивать скоростно-силовые качества мышц спортсмена по результатам биомеханического анализа на динамическом уровне на основании расчета динамической скорости изменения момента управляющих сил мышечной системы. Для этого введено понятие динамической скорости как первой производной по времени от управляющего момента. Показано, что в этом случае нет необходимости использовать специальные технику и измерительные методики и проводить исследования вне тренировочной и соревновательной практики.

Проанализирована обнаруженная закономерность, заключающаяся в том, что вначале экстремума достигает динамическая скорость, и только после этого своих пиковых значений достигает управляющий момент.

***Ключевые слова.** Биомеханическая система, мышечная система, скоростно-силовые качества, спортсмен, управляющий момент.*

Введение

Во многих видах спорта важнейшими качествами, которые должен проявлять спортсмен являются скоростно-силовые качества мышечной системы [1]. Отмечено, что скоростно-силовые качества – это способность развивать максимальное мышечное напряжение в минимальный отрезок времени. В основе скоростно-силовых способностей лежат функциональные свойства нервно-мышечной системы, которые позволяют реализовывать значительные мышечные напряжения с одновременной и максимальной быстротой движения. Таким образом, скоростно-силовые качества – это способность человека к проявлению усилий максимальной мощности в кратчайший промежуток времени, при сохранении оптимальной амплитуды движения.

Скоростно-силовые качества зависят не только от проявленной величины мышечной силы, но и от способности спортсмена к высокой концентрации нервно-мышечных усилий и мобилизации функциональных возможностей организма [2, 3].

Эти качества мышечной системы оценивают двумя способами:

- с помощью измерительных устройств;
- с помощью специальных контрольных упражнений (тестов).

На рисунке 1 показано измерение скоростных показателей движения спортсмена.



Рис. 1. Измерение скоростных показателей движения спортсмена

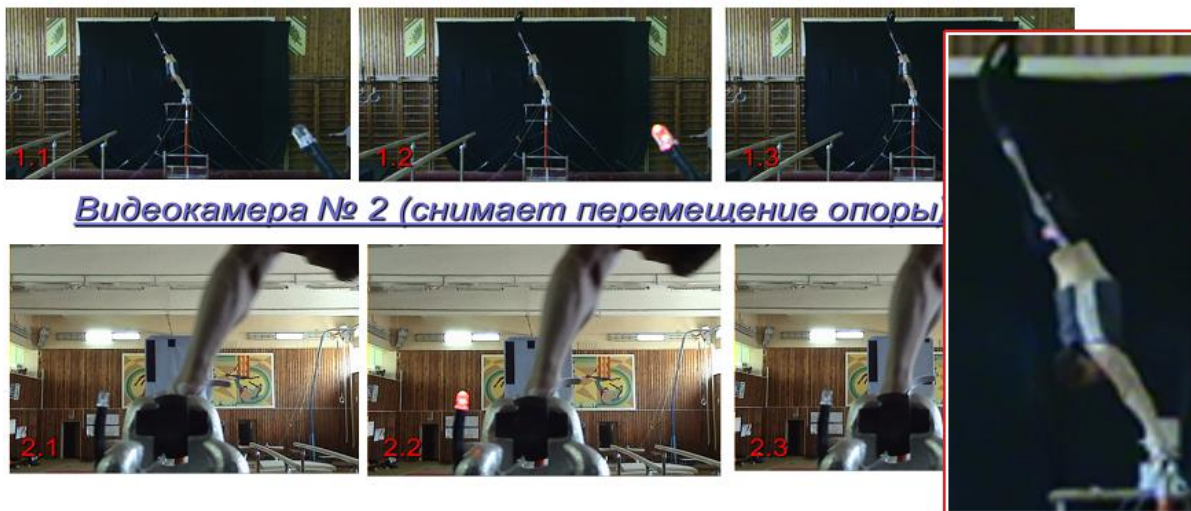
Отметим, что для оценки скоростных качеств мышечной системы проводится специальный эксперимент, с использованием специальной техники и методики измерения и обработки данных. Также укажем, что данный эксперимент позволяет измерить скоростные характеристики движения спортсмена на уровне кинематики.

Ниже представлены тестовые методики для оценки скоростно-силовых способностей с помощью специальных контрольных упражнений:

1. Тест «Прыжок в длину с места с приземлением на обе ноги одновременно».
2. Тест «Прыжок в длину с места».
3. Тест «Прыжок в длину с разбега».
4. Тест «Прыжок вверх с места».
5. Тест «Прыжки на скакалке за 25 с».
6. Тест «Бросок набивного мяча 1 кг из-за головы».
7. Тест «Подтягивание на перекладине».
8. Тест «Отжимание в упоре лежа».
9. Тест «Подъем туловища за 1 мин из положения лежа».

На рисунке 2 показан эксперимент по измерению пространственных положений спортсмена и деформации спортивного снаряда [4].

Видеокамера № 1 (снимает движение спортсмена)



Видеокамера № 2 (снимает перемещение опоры)

Рис. 2. Измерение скоростных параметров движения спортсмена и деформации грифа перекладины

По результатам экспериментальных исследований, показанных на рисунках 1 и 2, после обработки видеокадров, можно получить количественную картину по кинематике движения спортсмена. Для силового анализа и анализа на динамическом уровне необходим вычислительный эксперимент.

Таким образом, констатируем, что при биомеханическом анализе движения в спорте получается огромный массив данных по кинематике и динамике спортивного упражнения. Это позволяет качественно и количественно выполнить анализ движения биомеханической системы (БМС) [5, 6]. При этом в биомеханическом анализе ряд вопросов не ставится, т.к. их решение требует специального оборудования и специальных же методик исследования.

1. Исследование динамической скорости по управляющему моменту

Нами предложена гипотеза о возможности оценки скоростно-силовых качеств мышечной системы спортсмена на основе математического анализа данных по динамике движения БМС. Для этого введены понятия динамической скорости и динамического ускорения по моменту управляющих сил мышечной системы спортсмена [5].

Динамическая скорость по управляющему моменту отличается от понятия кинематической скорости, связанной с изменением координат БМС во времени. Динамическая скорость по управляющему моменту $M_{i,i-1}$ есть первая производная этого момента по времени, или третья производная от координат по времени. В общем виде уравнение имеет вид

$$V_{M_{i-1,i}} = \frac{dM_{i,i-1}}{dt} \text{ (Н·м/с)}, \quad (1)$$

где $V_{M_{i-1,i}}$ – динамическая скорость управляющего момента.

Отметим, что динамическая скорость по управляющему моменту по уравнению (1) имеет размерность мощности. Но это не мощность, а только совпадение размерностей у мощности и динамической скорости.

На рисунках 3-5 представлены управляющие моменты мышечной системы (рис. 3), мощности (рис. 4) и динамические скорости (рис. 5).

Расчеты для рисунков 3-5 выполнялись на примере большого оборота назад на перекладине в спортивной гимнастике. Аналогичные графики получаются и для рывка штанги в тяжелой атлетике.

Таким образом, вычислительный эксперимент на ПЭВМ для упражнений в различных видах спорта показал два важных момента:

- несмотря на совпадение размерностей мощности и динамической скорости по управляющему моменту, это разные характеристики, не совпадающие ни по величине, ни по характеру изменения;
- наличие новой, ранее неизвестной закономерности изменения динамической скорости по отношению к управляющему моменту.

Это требует дополнительных исследований на уровне биомеханического анализа и педагогического эксперимента.

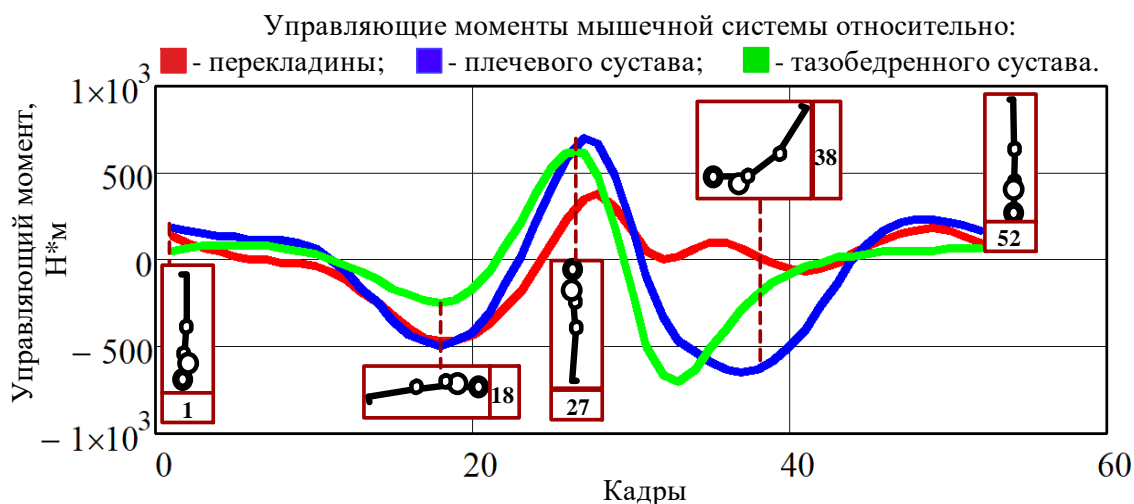


Рис. 3. Управляющие моменты мышечной системы при выполнении большого оборота назад на перекладине (Н·м)

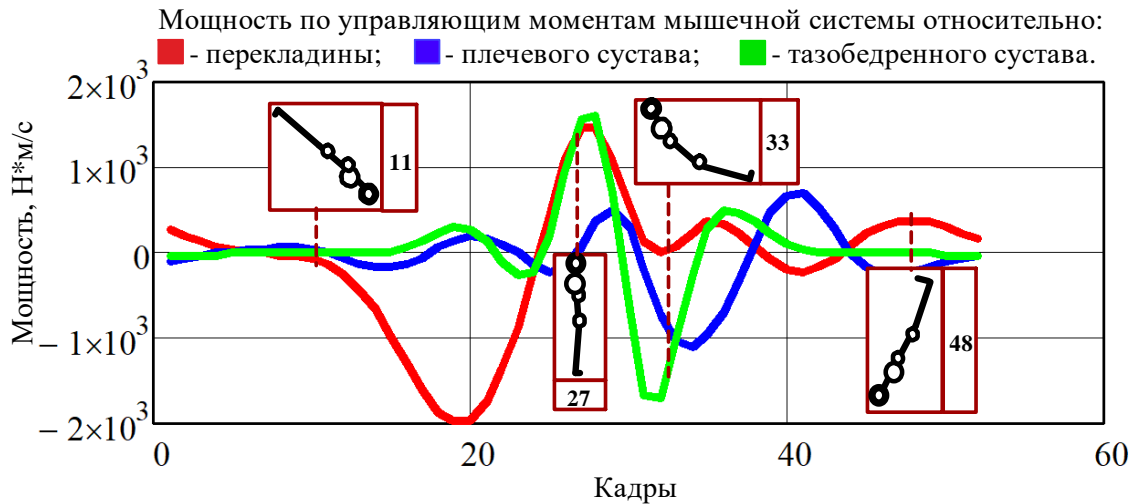


Рис. 4. Мощность управляющих моментов ($\text{H}\cdot\text{м}/\text{с}$)

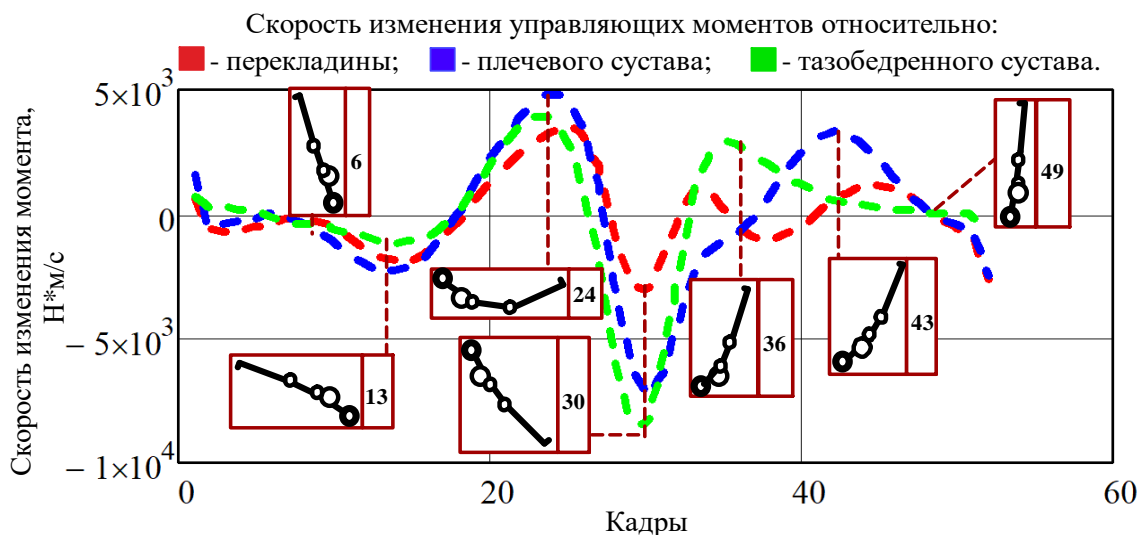


Рис. 5. Динамическая скорость в спортивной гимнастике ($\text{H}\cdot\text{м}/\text{с}$)

Рассмотрим более подробно графики на рисунках 3-5. На рисунке 3 показано изменение управляющего момента при выполнении большого оборота назад на перекладине в спортивной гимнастике. Здесь БМС представлена трехзвенной моделью. Таким образом, на рисунке показаны изменения управляющих моментов в тазобедренном и плечевом суставах, а также движущего момента.

На рисунке 4 показано изменение мощностей при движении спортсмена относительно перекладины, плечевого и тазобедренного суставов, вместе с указанием положения БМС на кинетограмме большого оборота назад на перекладине в спортивной гимнастике.

На рисунке 5 представлено изменение динамической скорости по управляющему моменту, рассчитанное в вычислительном эксперименте по уравнению для того же упражнения в спортивной гимнастике.

Сравнение рисунков 4 и 5 показывает несовпадение понятий мощности и динамической скорости по управляющему моменту при совпадении размерности.

Для более углубленного анализа на рисунке 6 совмещены графики изменения управляющего момента и его динамической скорости для тазобедренного сустава при выполнении большого оборота назад на перекладине.

Здесь выявлена закономерность опережения локальных экстремумов динамической скорости по отношению к управляющему моменту. То есть, вначале достигает пиковых значений по абсолютной величине динамическая скорость, потом она начинает уменьшаться, и в этот момент достигает пика управляющий момент. Разность по времени составляет величину Δt_i в каждом i -ом сечении.

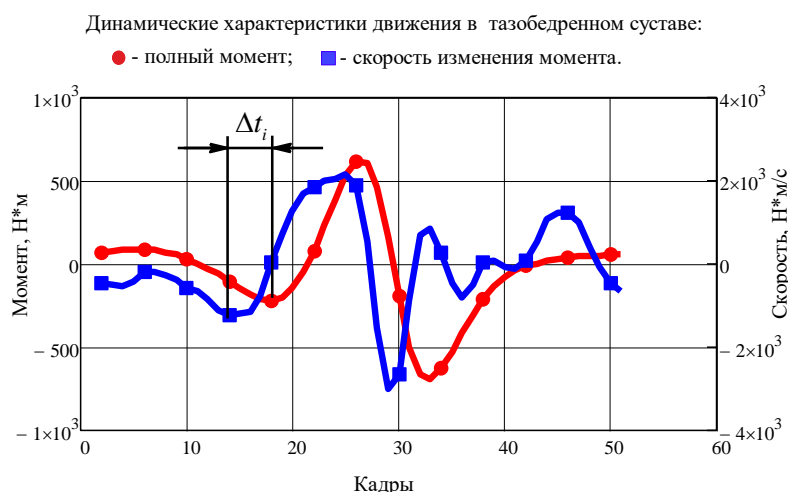


Рис. 6. Динамика полной БМС относительно тазобедренного сустава в спортивной гимнастике

Обнаруженная закономерность в изменении динамических характеристик движения спортсмена не зависит от вида спорта. На рисунке 7 показана подобная же закономерность на примере рывка штанги весом 100 кг для управляющего момента относительно тазобедренного сустава, как и в спортивной гимнастике.

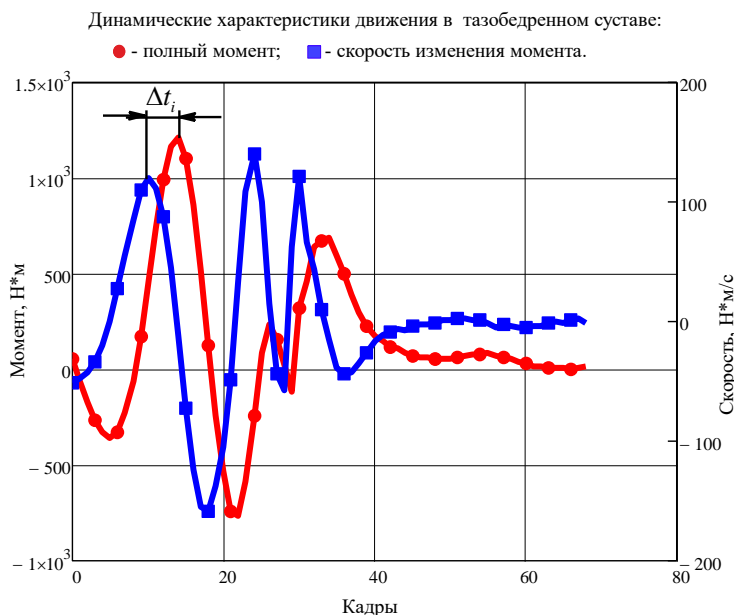


Рис. 7. Динамическая скорость управляющего момента относительно тазобедренного сустава (рывок, штанга 100 кг)

Отметим, что на графиках рисунка 7 имеем по 7 четко выраженных экстремумов изменений динамических характеристик движения. Есть еще один, 8-ой экстремум, но он проявляется в конечной фазе упражнения, и выражен слабо.

Эти закономерности выявлены на уровне вычислительного эксперимента для всех суставов и независимо от принятой модели биомеханической системы, и требуют теоретического осмысления и поиска причин такого явления.

2. Модели целенаправленного движения спортсмена

На рисунке 8 показана расчетная схема для вывода уравнений целенаправленного движения биомеханической системы в виде махового спортивного упражнения, совершаемого в условиях упругой опоры, моделируемой двумя поступательно движущимися пружинами [7].

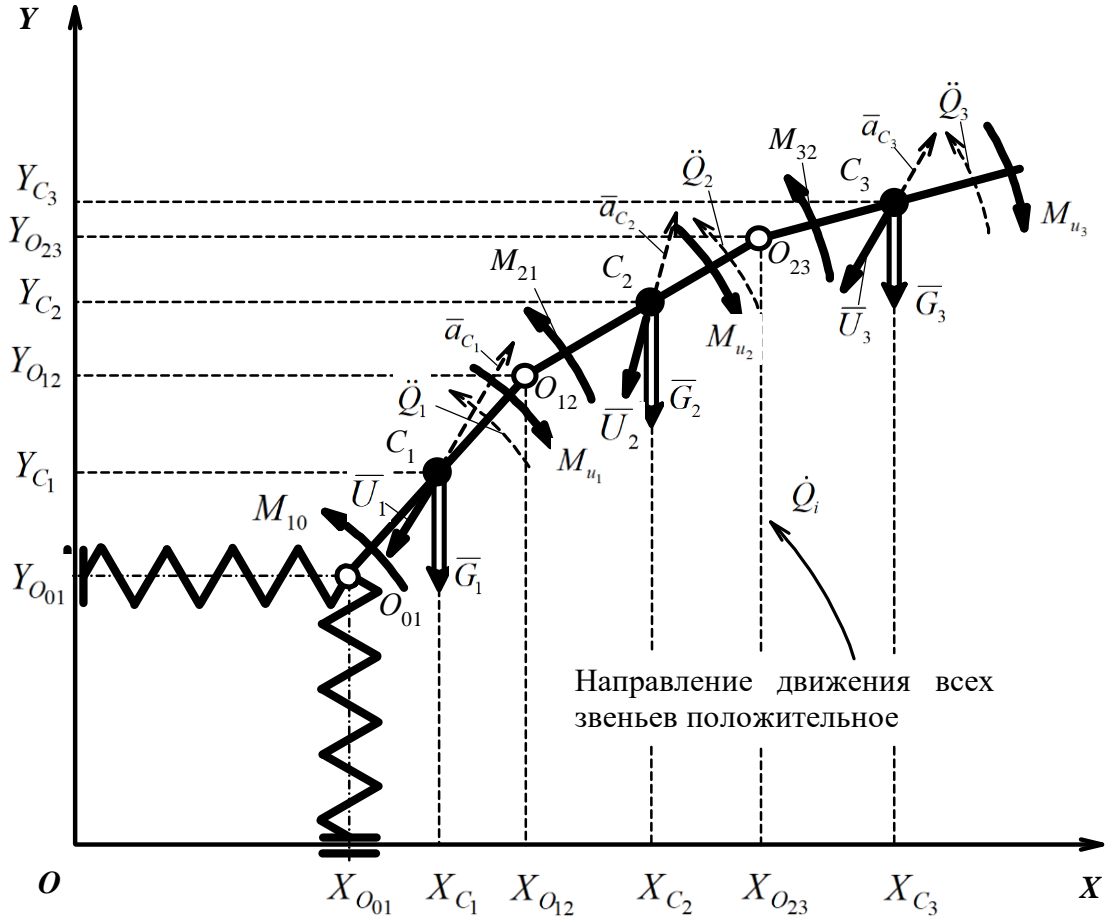


Рис. 8. Расчетная схема биомеханической системы

На основе исследования расчетной схемы БМС методами кинетостатики для спортсмена, выполняющего упражнение в условиях упругой опоры, через коэффициенты A_{jk} , характеризующие геометрию масс тела человека, уравнения принимают вид

$$\begin{aligned}
 M_{i,i-1} = & g \sum_{j=i}^N C_{ij} \cos Q_j - \ddot{L}_{0r} \sum_{j=i}^N C_{ij} \sin Q_j + \ddot{L}_{0B} \sum_{j=i}^N C_{ij} \cos Q_j + \\
 & + \sum_{k=1}^N \sum_{j=i}^N A_{jk} \ddot{Q}_k \cos(Q_k - Q_j) - \sum_{k=1}^N \sum_{j=i}^N A_{jk} \dot{Q}_k^2 \sin(Q_k - Q_j).
 \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь динамическое уравнение движения записано через момент управляющих сил мышечной системы $M_{i,i-1}$. Членами этой формулы являются обобщенные координаты БМС, и данные по кинематике движения.

Кроме того, уравнение (2) учитывает динамическую деформацию спортивного снаряда в горизонтальном и вертикальном направлениях. Ниже приведено выражение только для выделенной из уравнения (2) БМС

$$M_{i,i-1}^{BMC} = g \sum_{j=i}^N C_{ij} \cos Q_j + \sum_{j=1}^N \sum_{k=i}^N A_{jk} \ddot{Q}_k \cos(Q_k - Q_j) - \sum_{j=1}^N \sum_{k=i}^N A_{jk} \dot{Q}_k^2 \sin(Q_k - Q_j). \quad (3)$$

Другая часть выражения показывает в явном виде связь движения опоры с моментами управляющих сил:

$$M_{i,i-1}^{ОП} = \ddot{L}_{0B} \sum_{j=i}^N C_{ij} \cos Q_j - \ddot{L}_{0Г} \sum_{j=i}^N C_{ij} \sin Q_j. \quad (4)$$

Перепишем управляющий момент мышечных сил относительно шарнира $O_{i-1,i}$ через сумму моментов выделенных опоры и биомеханической системы:

$$M_{i,i-1} = M_{i,i-1}^{ОП} + M_{i,i-1}^{БМС}. \quad (5)$$

Отметим, что выражение (5) дает структуру управляющего момента в условиях упругой опоры и подходит для большого оборота на перекладине. Это и позволяет на основании данной формулы оценить вклад упругой деформации спортивного снаряда в технику упражнения в спортивной гимнастике.

Уравнение (3) подходит как для анализа упражнений в условиях жесткой опоры в спортивной гимнастике, так и для тяжелой атлетики. В этом случае формула описывает движение только самого спортсмена.

Перепишем уравнение для управляющих моментов в виде

$$M_{i,i-1} = \sum_{j=i}^N I_j \ddot{Q}_j + g \sum_{j=i}^N C_{ij} \cos Q_j - \ddot{L}_{0Г} \sum_{j=i}^N C_{ij} \sin Q_j + \ddot{L}_{0B} \sum_{j=i}^N C_{ij} \cos Q_j + \sum_{k=1}^N \sum_{j=i}^N B_{jk} \ddot{Q}_k \cos(Q_k - Q_j) - \sum_{k=1}^N \sum_{j=i}^N B_{jk} \dot{Q}_k^2 \sin(Q_k - Q_j). \quad (6)$$

Здесь геометрия масс записана через коэффициенты B_{jk} . Коэффициенты C_{ij} определяются по результатам силового анализа и тоже относятся к геометрии масс звеньев БМС.

Продифференцируем по времени уравнение (6). Получим динамическую скорость по моменту управляющих сил мышечной системы

$$V_{M_{i,i-1}} = \dot{M}_{i,i-1} = \sum_{j=i}^N I_j \ddot{Q}_j - g \sum_{j=i}^N C_{ij} \dot{Q}_j \sin Q_j - \ddot{L}_{0Г} \sum_{j=i}^N C_{ij} \sin Q_j - \ddot{L}_{0B} \sum_{j=i}^N C_{ij} \dot{Q}_j \cos Q_j + \ddot{L}_{0B} \sum_{j=i}^N C_{ij} \cos Q_j - \ddot{L}_{0B} \sum_{j=i}^N C_{ij} \dot{Q}_j \sin Q_j - \sum_{k=1}^N \sum_{j=i}^N B_{jk} \ddot{Q}_k (\dot{Q}_k - \dot{Q}_j) \sin(Q_k - Q_j) + \sum_{k=1}^N \sum_{j=i}^N B_{jk} \ddot{Q}_k \cos(Q_k - Q_j) - \sum_{k=1}^N \sum_{j=i}^N B_{jk} \dot{Q}_k^2 \sin(Q_k - Q_j). \quad (7)$$

$$-2 \sum_{k=1}^N \sum_{j=i}^N B_{jk} \dot{Q}_k \ddot{Q}_k \sin(Q_k - Q_j) - \sum_{k=1}^N \sum_{j=i}^N B_{jk} \dot{Q}_k^2 (\dot{Q}_k - \dot{Q}_j) \cos(Q_k - Q_j).$$

Анализ полученного уравнения (7), показывает наличие всех факторов, влияющих на сдвиг тригонометрических функций в уравнениях управляющего момента и его динамической скорости. Группируем в уравнении динамической скорости слагаемые по наличию синусов и косинусов, что облегчает анализ факторов, влияющих на сдвиг. Получим

$$\begin{aligned} V_{M_{i,i-1}} = \dot{M}_{i,i-1} = \sum_{j=i}^N I_j \ddot{Q}_j + & \left[-g \sum_{j=i}^N C_{ij} \dot{Q}_j \sin Q_j - \ddot{L}_{0r} \sum_{j=i}^N C_{ij} \sin Q_j - \right. \\ & - \ddot{L}_{0B} \sum_{j=i}^N C_{ij} \dot{Q}_j \sin Q_j - \sum_{k=1}^N \sum_{j=i}^N B_{jk} \ddot{Q}_k (\dot{Q}_k - \dot{Q}_j) \sin(Q_k - Q_j) - \\ & \left. - 2 \sum_{k=1}^N \sum_{j=i}^N B_{jk} \dot{Q}_k \ddot{Q}_k \sin(Q_k - Q_j) \right] + \left[\ddot{L}_{0B} \sum_{j=i}^N C_{ij} \cos Q_j - \ddot{L}_{0r} \sum_{j=i}^N C_{ij} \dot{Q}_j \cos Q_j + \right. \\ & \left. + \sum_{k=1}^N \sum_{j=i}^N B_{jk} \ddot{Q}_k \cos(Q_k - Q_j) - \sum_{k=1}^N \sum_{j=i}^N B_{jk} \dot{Q}_k^2 (\dot{Q}_k - \dot{Q}_j) \cos(Q_k - Q_j) \right]. \end{aligned} \quad (8)$$

В общем виде с группировкой по силовым факторам уравнение динамической скорости имеет 5 структур

$$V_{M_{k,i}} = V_{G_{k,i}} + V_{M_{i_Lgor_{k,i}}} + V_{M_{i_Lvert_{k,i}}} + V_{M_{i_a^n_{k,i}}} + V_{M_{i_a^\tau_{k,i}}}, \quad (9)$$

где $V_{G_{k,i}}$ – динамическая скорость, зависящая от сил тяжести звеньев;
 $V_{M_{i_Lgor_{k,i}}}$ – динамическая скорость, зависящая от деформации спортивного снаряда в горизонтальном направлении;
 $V_{M_{i_Lvert_{k,i}}}$ – динамическая скорость, зависящая от деформации спортивного снаряда в вертикальном направлении;
 $V_{M_{i_a^n_{k,i}}}$ – динамическая скорость, зависящая от нормальной инерционной нагрузки;
 $V_{M_{i_a^\tau_{k,i}}}$ – динамическая скорость, зависящая от касательной инерционной нагрузки.

Рассмотрим влияние силовых факторов на сдвиг функций по структуре уравнения (9). При этом отметим, что динамические уравнения движения можно анализировать и изучать в трех направлениях:

- исходя из наличия отдельных тригонометрических функций;
- рассматривать уравнение движения целиком, с учетом взаимовлияния отдельных членов выражения друг на друга;
- по результатам вычислительного эксперимента.

На рисунке 9 показаны результаты вычислительного эксперимента по уравнениям (7), (8) в части действия сил тяжести звеньев на динамику движения спортсмена.

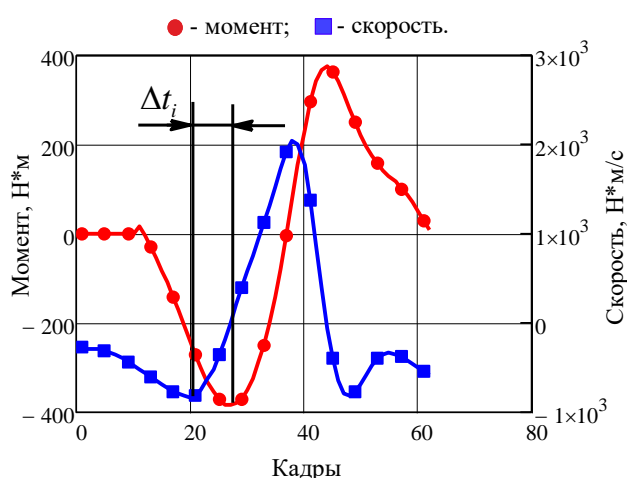
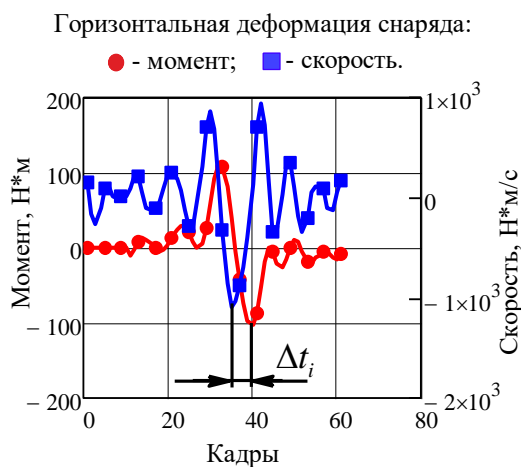


Рис. 9. Влияние силы тяжести на динамику в плечевом суставе

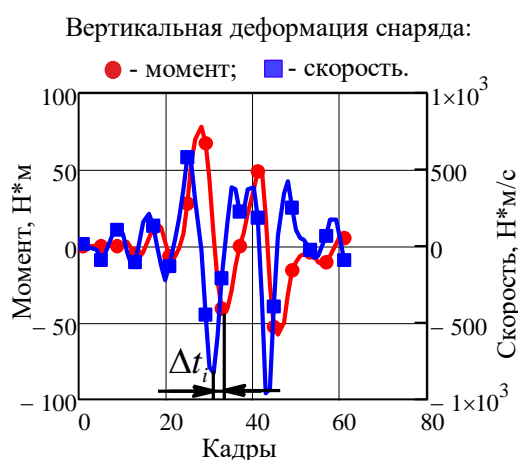
в различных направлениях: на рисунке 10 а) в горизонтальном направлении; на рисунке 10 б) – в вертикальном.

По рисунку имеем ярко выраженную картину сдвига функций, то есть имеет место быть опережение максимума динамической скорости над максимальной величиной управляющего момента мышечной системы при действии сил тяжести звеньев БМС.

На рисунках 10 а) и б) представлены графики по влиянию деформации спортивного снаряда в



а)



б)

Рис. 10. Влияние деформации спортивного снаряда на динамику в плечевом суставе

На рисунках 11 а) и б) показаны зависимости моментов и их динамических скоростей для инерционной нагрузки в нормальном и касательном направлениях. На рисунке 11 а) показано влияние сил инерции в нормальном направлении, а на рисунке 11 б) даны графики изменения динамических параметров движения в касательном к траектории направлении.

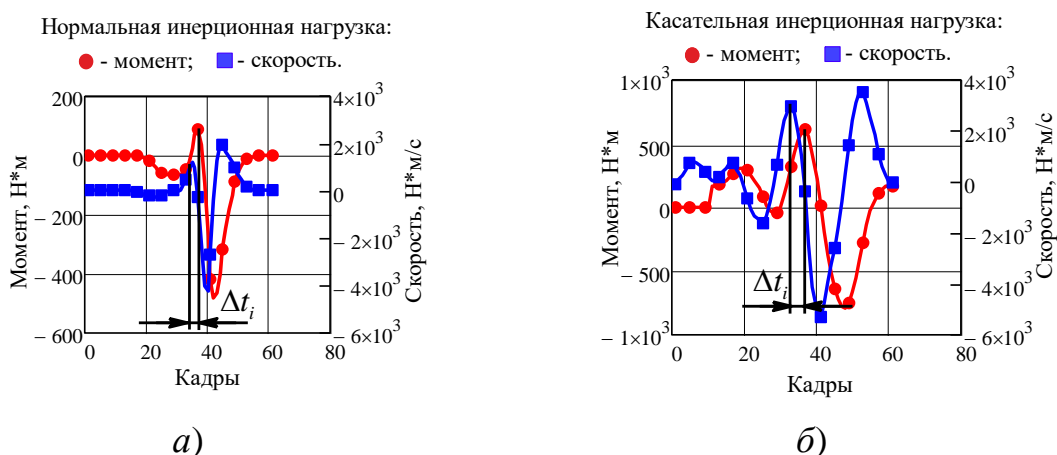


Рис. 11. Влияние инерционной нагрузки на динамику в плечевом суставе

Анализ рисунков 9-11 а), б) показывает, что скорость изменения момента управляющих сил опережает по времени момент достижения экстремальных значений самим моментом для всех силовых факторов без исключения.

Заключение

Использование математического анализа, в частности, дифференцирования по времени для исследования изменения во времени силовых характеристик мышечной системы, позволил разработать методику изучения скоростно-силовых качеств мышечной системы на основе материала биомеханического анализа спортивного упражнения. Такой подход не требует специальной аппаратуры и методик, кроме стандартной для проведения биомеханического анализа, и не требует отдельных исследований вне тренировочной и спортивной практики.

Исследование показало существование закономерности в изменении силовых и скоростных качеств мышечной системы. Так рост динамической скорости всегда опережает рост мышечных усилий независимо от упражнения и вида спорта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шалманов, А.А. Оперативный и текущий биомеханический контроль в спорте (проблемы и пути решения) / А. А. Шалманов, В. Скотников, Я. Ланка // Наука в олимпийском спорте. – 2013. – № 4. – С. 40–45.
2. Лавшук, Д.А. Поиск рациональной техники соревновательных упражнений в вычислительном эксперименте на ЭВМ / Д.А. Лавшук, Ю.В. Воронович // Актуальные проблемы физического воспитания, спорта и туризма: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Мозырь, 11–

- 13 окт. 2012 г. / УО МГПУ им. И.П. Шамякина; редкол. : С.М. Блоцкий (отв. ред.) [и др.]. – Мозырь, 2012. – С. 220–222.
3. Масловский, Е.А. Управление технической подготовкой метателей молота на основе срочной информации о биомеханических характеристиках метания / Е.А. Масловский, В.И. Загrevский // Вісн. Чернігів. нац. пед. ун-ту. Сер. пед. науки. Фіз. вихов. та спорт. – 2012. – Вип. 102. – С. 73–78.
 4. Киркор, М. А. Исследование движения в биомеханике спорта / М. А. Киркор, А. Е. Покатилов, А. М. Гальмак // Веснік МДУ. – 2021. – № 2 (58). – С. 93-104.
 5. Покатилов, А.Е. Исследование движения спортсмена на динамическом уровне / А.Е. Покатилов, А.М. Гальмак, Ю.В. Воронович // Аналитические методы анализа и дифференциальных уравнений : материалы 10-го международного семинара 13-17 сентября 2021 г., Минск, Беларусь / Институт математики НАН Беларуси. – Минск : ИВЦ Минфина, 2021. – С. 69.
 6. Фролов, В.И. Фазовая структура толчка штанги от груди / В.И. Фролов, Н.Г. Левшунов // Тяжелая атлетика: Ежегодник. – М.: Физкультура и спорт, 1979. – С. 7–14.
 7. Покатилов, А.Е. Биомеханика взаимодействия спортсмена с упругой опорой / А.Е. Покатилов; под. ред. В.И. Загrevского. – Минск: Изд. центр БГУ, 2006. – 351 с.

SPEED-FORCE QUALITIES OF ATHLETE'S MUSCULAR SYSTEM

Pokatilov A. E., Popov V. N., Voronovich Yu.

It is suggested to estimate the speed-force qualities of an athlete's muscles according to the results of biomechanical analysis at the dynamic level on the basis of calculation of the dynamic rate of change of the moment of controlling forces of the muscular system. For this purpose, the concept of dynamic velocity as the first time derivative of the control moment is introduced. It is shown that in this case there is no need to use special techniques and measuring methods and to conduct research outside of training and competition practice.

It is analysed the discovered regularity that the dynamic velocity reaches the extremum first, and only after that the control torque reaches its peak values.

Key words. Biomechanical system, muscular system, speed and strength qualities, athlete, controlling moment.

Республика Беларусь
Могилёвский государственный университет продовольствия
Кафедра прикладной механики
Поступила в редакцию 26.11.2024.