

Сейдалиев Т.О. Курляндский Ю.Н.

**РАЗМЕРНЫЕ РЯДЫ РАЗРАБОТАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ
СТАНКОВ-КАЧАЛОК И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА**

T.O. Seidaliev, Y.N. Kurlyandskii

**SIZE STANDARDS OF THE DEVELOPED WALKING PUMP
CONSTRUCTION AND THEIR FEATURES**

УДК: 621.9.06

Определены размерные ряды разработанной конструкции станков-качалок и их технические характеристики на основе геометрического подобия значения среднеквадратичных моментов на валу кривошипов пропорциональных длине хода.

On the basis of the geometric similarities of meaning of the mean square moments on the lever shaft proportional to the length of stroke size standards of the developed walking pump construction and their features were determined.

Разработанные конструкции станков – качалок могут служить основой для создания размерных рядов этого оборудования.

При соблюдении геометрического подобия значения среднеквадратичных моментов на валу кривошипов пропорциональны длине хода. Эти значения при различных длинах ходов приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Расчет среднеквадратичных моментов на валу кривошипов в зависимости от длины хода (кривошипное уравновешивание)

| Длина хода Канатной подвески, м | Среднеквадратичный момент на валу кривошипов | | |
|---------------------------------|--|----------|----------|
| | Схема станка - качалки | | |
| | <i>A</i> | <i>б</i> | <i>B</i> |
| 6,0 | 0,470 0 | 0,428 0 | 0,406 Q |
| 5,0 | 0,3917 0 | 0,3567 0 | 0,3383 Q |
| 4,0 | 0,3133 0 | 0,2853 0 | 0,2707 Q |
| 3,0 | 0,2350 0 | 0,2140 0 | 0,2030 Q |
| 1,5 | 0,1175 0 | 0,1070 0 | 0,1015 Q |

На основе этих данных были выполнены:

- расчет и сопоставление характеристик станков – качалок рассматриваемых схем с характеристиками известных станков - качалок аналогичной конструкции;
- установление сравнительных характеристик станков - качалок в пределах принятого на практике диапазона их параметров.

При этом в качестве заданных исходных данных принимались тяговое усилие, длина хода и частота ходов балансира, на основе заданного сочетания которых определялись и сравнивались расчетная и установленная мощность электродвигателя, являющиеся основными показателями энергопотребления.

Расчетная мощность определялась по формуле (6). Установленная мощность принималась по характеристикам электродвигателей, выпускаемых в настоящее время промышленностью.

Содержание таблиц 2 и 3 свидетельствует о соответствии данных, полученных на основании результатов графического моделирования, характеристикам известных аналогов исследуемого оборудования схем а и б в обширном диапазоне параметров.

Станок - качалка, выполненный по схеме в на рисунке 23, аналогов не имеет. Однако, результаты его исследования получены на основе методов, зарекомендовавших себя как корректные при исследовании станков - качалок, выполненных по схемам а и б. Поэтому эти результаты, наравне с другими, послужили основой для определения параметров размерного ряда стыков - качалок этого типа и для сравнительного анализа их характеристик с характеристиками станков по схемам а и б на рисунке [84,85,87].

Таблица 2.

Расчетная и установленная мощности электродвигателя известных* и разработанного станков – качалок по схеме а с аналогичными параметрами [5]

| Марка известного станка - качалки | Данные технической характеристики известного станка - качалки | | | Расчетные параметры разработанного станка - качалки с аналогичными характеристиками | | | Установленная мощность электродвигателя, кВт | |
|-----------------------------------|---|---------------------------------|----------------------|---|---|--|--|-----------------------------|
| | Тяговое усилие, кН | Длина хода канатной подвески, м | Частота ходов, 1/мин | Средне квадратичный момент $M_{cp}=0,23 \cdot 50$, кН-м | Угловая скорость кривошипно вала, рад/с | Расчетная мощность электродвигателя, кВт | Разработанного станка - качалки | Известного станка - качалки |
| ПШГН 6-3-3600 | 60,0 | 3,0 | 8,5 | 14,1 | 0,8897 | 16,72 | 18,5 | 18,5 |
| ПШГН 8-3-5500 | 80,0 | 3,0 | 8,5 | 18,8 | 0,8897 | 22,30 | 22,0 | 22,0 |
| ПШГН 8-3-4000 | 80,0 | 3,0 | 11,4 | 18,8 | 1,235 | 29,9! | 30,0 | 30,0 |
| ПШГН 10-3- 5500 | 100,0 | 3,0 | 8,5 | 23,5 | 0,8897 | 27,877 | 30,0 | 30,0 |
| ПШГН 12-3- 5600 | 120,0 | 3,0 | 8,5 | 28,2 | 0,8897 | 33,452 | 37,0 | 37,0 |

Таблица 3.

Расчетная и установленная мощности электродвигателя известных* и разработанного станков - качалок по схеме б с аналогичными параметрами [6]

| Марка известного станка - качалки | Данные технической характеристики известного станка - качалки | | | Расчетные параметры разработанного станка - качалки с аналогичными характеристиками | | | Установленная мощность электродвигателя, кВт | | |
|-----------------------------------|---|---------------------------------|----------------------|---|----------------|---|--|---------------------------------|-----------------------------|
| | Тяговое усилие, кН | Длина хода канатной подвески, м | Частота ходов, 1/мин | Среднеквадратичный момент на кривошипном валу | | Угловая скорость кривошипного вала, рад/с | Расчетная мощность электродвигателя, кВт | Разработанного станка - качалки | Известного станка - качалки |
| | | | | Расчетная формула | Величина, кН-м | | | | |
| УСУ1 6-3-18НВ | 60,0 | 3,0 | 7 | 0,214 Q | 12,84 | 0,7327 | 12,54 | 15,0 | 15,0 |
| УСУ1 6- 3-26НВ | 80,0 | 3,0 | 7 | 0,214 Q | 17,12 | 0,7327 | 16,725 | 18,0 | 18,0 |
| УСУ1 10-5- 37НВ | 100,0 | 5,0 | 4 | 0,3567 Q | 35,67 28,53 | 0,419 | 19,928 | 22,0 | 22,0 |
| | 100,0 | 4,0 | 5 | 0,2853 Q | | 0,523 | 19,895 | 22,0 | 22,0 |
| УСУ1 12-5- 48НВ | 120,0 | 5,0 | 5 | 0,3567 Q | 42,804 | 0,523 | 29,84 | 30,0 | 30,0 |
| | 120,0 | 4,0 | 6 | 0,2853 Q | 30,36 | 0,628 | 25,42 | 30,0 | 30,0 |
| УСУ1 14-5- 53 НВ | 140,0 | 5,0 | 5 | 0,3567 Q | 49,938 | 0,523 | 34,818 | 37,0 37,0 | 37,0 |
| | 140,0 | 4,0 | 6 | 0,2853 Q | 39,942 | 0,628 | 33,444 | | |
| УСУ1 16-6- 73НВ | 160,0 | 6,0 | 4 | 0,428 Q | 68,48 | 0,419 | 38,253 | 45,0 45,0 | 45,0 |
| | 160,0 | 5,0 | 5 | 0,3567Q | 57,072 | 0,523 | 39,798 | | |

Характеристики размерных рядов станков - качалок, выполненных с соблюдением геометрического подобия схемам **а**, **б**, **в** определяются из следующего.

Расчетный среднеквадратичный момент на кривошипном валу станка - качалки:

- исследованного типоразмера, с длиной хода канатной подвески $L=6м$,

$$M_{СК} = A \cdot Q \quad (1)$$

где Q - тяговое усилие, кН;

A - установленный для рассмотренных схем множитель с размерностью длины, равный, соответственно, 0,470 м и 0,453 м - для схемы **а** - при кривошипном и комбинированном уравновешивании, и 0,428 м и 0,406 м - для схем **б** и **в** (таблица 1)

- проектируемого типоразмера

$$M_{СКн} = M_{СК} \cdot \frac{L_n}{L} = Q \cdot \frac{A \cdot L_n}{6} = 0,1667Q \cdot A \cdot L_n \quad (2)$$

Выражение это основано на пропорциональности моментов нагрузок на звеньях рычажного механизма станка - качалки линейным размерам звеньев. При геометрическом подобии, для которого характерны одинаковые углы поворота балансиров и одно заданное соотношение между линейными размерами всех звеньев базового и проектируемого станков - качалок, равное соотношению длин ходов канатных подвесок, при одинаковых нагрузках на канатные подвески и звенья механизмов:

$$\frac{M_n}{M} = \frac{L_n}{L}$$

где M_n и M - моменты на звене проектируемого и базового типоразмеров станков - качалок;

L_n и $L=6$ м - длины соответствующих ходов канатных подвесок

Выражение (26) справедливо для текущих и среднеквадратичных значений моментов на кривошипном валу.

Поэтому расчетные максимальные значения момента на кривошипном валу станка - качалки проектируемого типоразмера определяется из аналогичного выражения;

$$M_{maxn} = M_{max} \cdot \frac{L_n}{L} = Q \cdot \frac{A' \cdot L_n}{6} = 0,1667Q \cdot A' \cdot L_n \quad (3)$$

где A'' - множитель, равный 2,851; 3,347 и 4,662 для станков - качалок, соответственно, по схемам а, б и в (таблицы 4:12).

Расчетная мощность электродвигателя станка - качалки проектируемого типоразмера определяется по формуле:

$$N_{ЭЛ} = \frac{M_{СКП} \cdot \omega_{П}}{\eta} = \frac{M \cdot L_{П}}{L} \cdot \frac{\omega_{П}}{\eta} \quad (5)$$

где ω_n - угловая скорость кривошипного вала, рад/с, или 1/с;

η_n - к.п.д. механизма станка - качалки проектируемого типоразмера

где A' - множитель с размерностью длины, численно равный 0,668 м; 0,716 м и 0,633 м для станков - качалок по схемам, соответственно а, б и в.

Так как соотношение длин плеч балансиров для проектируемых и базового типоразмера одинаково, максимальная расчетная нагрузка на шатуне проектируемого типоразмера определяется по формуле:

$$F_{ПМАХ} = A' \cdot Q \quad (4)$$

Так как $\omega_{П} = \frac{\pi \cdot n_{П}}{30} = 0,1047 \cdot n_{П}$, $M_{СК} = A \cdot Q$ а $L=6$ м, формула (5) преобразуется к виду:

$$N_{ЭЛ} = 0,01745A \cdot Q \cdot \frac{L_{П} \cdot \omega_{П}}{\eta_{П}} \quad (6)$$

или при $\eta_n=0,75$

$$N_{ЭЛ}=0,02327A \cdot Q \cdot L_n \cdot n_n \quad (7)$$

где n_n - частота ходов балансира станка - качалки проектируемого типоразмера, 1/мин

После подстановки значений А, А и А" в формулы (2), (3), (4), (5) и преобразований, предложено определение расчетных характеристик станков - качалок соответствующих схем может быть выполнено с учетом данных таблиц 4 и 5.

Таблица 4

Расчетные коэффициенты для определения характеристик станков - качалок в зависимости от тягового усилия, длины и частоты ходов

| Характеристика станка - качалки Расчетная формула | Коэффициенты C_1, A, C_3, C_4 . Расчетные формулы | Расчетные коэффициенты C_1, C_2, A'', C_3, C_4 . | | |
|---|--|--|-----------|-----------|
| | | Схема станка - качалки | | |
| | | A | B | C |
| $M_{СКn} = Q \cdot L_n \cdot C_1$ кН-м | $\frac{M_{СКП}}{Q \cdot L_{П}} = C_1$ | 0,07835 | 0,07135 | 0,06768 |
| $M_{maxn} = Q \cdot L_n \cdot C_2$ кН-м | $\frac{M_{maxП}}{Q \cdot L_{П}} = C_2$ | 0.11136 | 0.11936 | 0.10552 |
| $F_{ШП} = Q \cdot A''$ кН-м | $\frac{F_{ШПmaxП}}{Q} = A''$ | 2,851 | 3,347 | 4,662 |
| $N_{ЭЛ} = Q \cdot L_n \cdot n_{П} \cdot C_3$ кВт | $\frac{N_{ЭЛ}}{Q \cdot L_n \cdot n_{П}} = C_3$ или, при $n_n=6$ $\frac{N_{ЭЛ}}{Q \cdot L_n} = C_4$ | 0,0109369 | 0,0099596 | 0,0094476 |
| $N_{ЭЛ} = Q \cdot L \cdot C_3$ кВт | | 0,0656214 | 0,1097586 | 0,0560850 |

Таблица 5

Расчетные коэффициенты для определения характеристик станков - качалок размерного ряда в зависимости от тягового усилия и частоты ходов при заданных величинах длины хода

| Схема станка - качалки | Длина хода* канатной подвески, м | Характеристика станка - качалки. Расчетная формула | | | |
|------------------------|----------------------------------|--|-------------------------|------------------------------------|---|
| | | $M_{СКn} = Q \cdot C_5$ | $M_{max} = Q \cdot C_6$ | $N_{ЭЛ} = Q \cdot n_{П} \cdot C_1$ | $N_{ЭЛ} = Q \cdot C_8$ при $n_{П}=6$ 1/мин |
| | | Коэффициенты C_5, C_6, C_7, C_8 . Расчетные формулы. | | | |

| | | $C_5 = \frac{M_{ck_n}}{Q}$ | $C_6 = \frac{M_{max}}{Q}$ | $C_7 = \frac{N_{эл}}{Q \cdot n_n}$ | $C_8 = \frac{N_{эл}}{Q}$ |
|------------------------|-----|----------------------------|---------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| | | о | 6" 2 | | 8~ о |
| Значения коэффициентов | | | | | |
| <i>A</i> | 1,5 | 0,117525 | 0,16700 | 0,016405 | 0,098432 |
| <i>B</i> | | 0,107025 | 0,17904 | 0,014939 | 0,089638 |
| <i>B</i> | | 0,101520 | 0,15828 | 0,014171 | 0,085030 |
| <i>A</i> | 3,0 | 0,23505 | 0,33400 | 0,032811 | 0,196864 |
| <i>B</i> | | 0,21405 | 0,35800 | 0,029879 | 0,179276 |
| <i>B</i> | | 0,20304 | 0,31656 | 0,028343 | 0,170060 |
| <i>A</i> | 4,5 | 0,352575 | 0,50100 | 0,049216 | 0,295296 |
| <i>B</i> | | 0,321075 | 0,53712 | 0,044818 | 0,268914 |
| <i>B</i> | | 0,304560 | 0,47484 | 0,042514 | 0,255090 |
| <i>A</i> | 6,0 | 0,470000 | 0,66800 | 0,065624 | 0,393728 |
| <i>B</i> | | 0,428000 | 0,71600 | 0,059758 | 0,358552 |
| <i>B</i> | | 0,406000 | 0,63300 | 0,056686 | 0,340110 |
| <i>A</i> | 7,5 | 0,587625 | 0,83520 | 0,0820268 | 0,492160 |
| <i>B</i> | | 0,535125 | 0,89520 | 0,074697 | 0,448190 |
| <i>B</i> | | 0,507600 | 0,79140 | 0,070857 | 0,425140 |

* - Расчетные коэффициенты могут быть определены по формулам таблицы 5 для любых заданных длин ходов.

Расчеты по формулам (5), (6) и данным таблиц 4, 5, обеспечивают хорошее соответствие расчетных показателей характеристикам известных станков - качалок со сходными параметрами (таблицы 2 и 3) и позволяют установить расчетные характеристики размерных рядов станков - качалок, выполненных по схемам **а**, **б**, **в**, при любых заданных значениях тягово-вого усилия, длины хода и частоты ходов канатной подвески. Расчетные значения среднеквадратичного и максимального моментов нагрузки кривошипного вала и мощности электродвигателя в зависимости от тягового усилия при заданных длинах хода канатной подвески - 3,0; 4,5; 6,0 и 7,5; частоты ходов 6,0 1/мин и к.п.д. станка - качалки $\eta = 0,75$.

При соотношении плеч балансира, обеспечивающем получение увеличенной до 6,0 - 7,5 м длины хода канатной подвески при ограниченных условиях компактности и уменьшения весовых характеристик габаритах установок, высоте расположения оси кривошипного вала и длине кривошипов, шарниры кривошипно - шатунного механизма станков - качалок работают в условиях повышенной нагрузки. Максимальная нагрузка на шатуне станков - качалок схем **а**, **б**, **в** составляет соответственно, 2,851Q; 3,347Q и 4,662Q (где Q - тяговое усилие станка - качалки). В диапазоне тяговых усилий от 60 до 200 кН это составит от 171,06 до 570,2 кН, от 203,82 до 679,4 кН, от 279,72 до 932,4 кН для станков - качалок, выполненных, соответственно по схемам **а**, **б**, **в**.

Максимальные силовые нагрузки на шатуне, в подшипниковых узлах и других звеньях кривошипно - шатунного механизма, характерные для станка - качалки по схеме **в**, превышают соответствующие нагрузки в механизме станка - качалки по схеме **а** в 1,635 раз, несколько меньшая величина этих максимальных нагрузок, характерная для работы станка - качалки по схеме **б**, также превышает нагрузки в механизме станка - качалки схемы **а** в 1,174 раза.

Максимальные в течение цикла работы моменты нагрузок на кривошипных валах зависят от размеров звеньев кривошипно - шатунного механизма, определяемых заданной длиной хода канатной подвески, и от заданной величины тягового усилия. В диапазоне длин ходов от 3,0 до 6,0 м они составляют (0,334+0,668)Q; (3; (0,358+0,716)Q и (0,311+0,623)Q. В диапазоне тяговых усилий от 60 до 200 кН величины этих моментов составляют от 20,04 до 133,6; от 21,48 до 143,2 и от 18,99 до 126,6 кН·м для станков - качалок схем **а**, **б**, **в** соответственно. Так как заданная величина хода канатной подвески в станке - качалке по схеме **в** обеспечивается поворотом головки на переднем плече балансира при меньших, чем у других станков - качалок, угле поворота балансира и перемещении шатуна и, соответственно, при меньшем радиусе кривошипа, величина максимального момента на кривошипном валу этого станка - качалки меньше, чем у станков - качалок других схем, и она составляет 94,76% и 88,4% от соответствующих моментов станков - качалок схем **а**, **б** на рисунке.

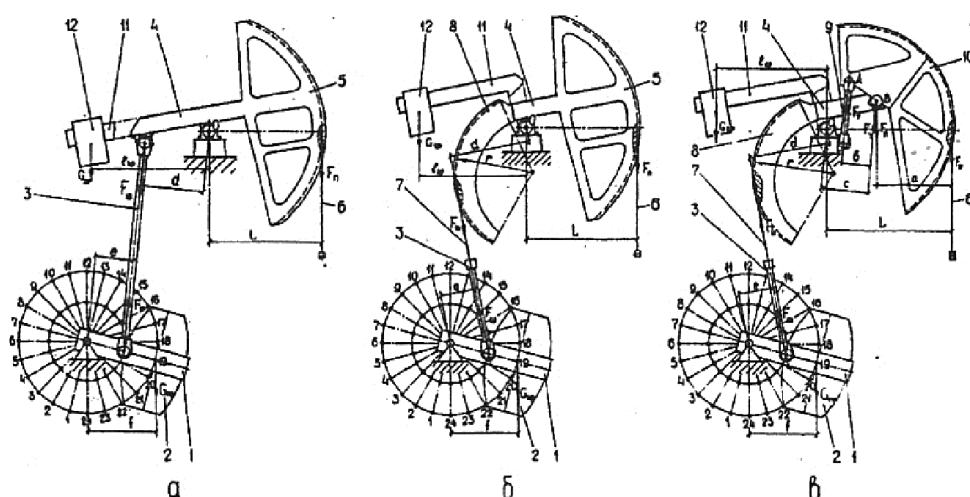


Рис.1. Расчетные схемы станков-качалок 1 - кривошип; 2 - противовес; 3 - шатун; 4 - балансир; 5 - головка балансира; 6 - канатная подвеска устьевого штока; 7 - тбкая связь шатуна с балансиром; 8 - головка на заднем плече балансира; 9 - шарнирная тяга; 10 - поворотная головка балансира; ! 1 - исполнение балансира для комбинированного уравнивания; 12 - груз

Наибольшая величина максимального момента на кривошипном валу станка - качалки по схеме б обусловлена большим чем у станка - качалки по схеме в, радиусом кривошипа, необходимым для обеспечения заданной длины : канатной подвески при неповоротной головке на переднем плече балансира, а также профилем головки на пнем плече балансира, при огибании которого гибкой связью в процессе рабочего хода уменьшается длина заднего плеча и возрастает нагрузка на шатуне и момент нагрузки на кривошипе. Однако, среднеквадратичный момент на кривошипном валу этого станка - качалки меньше, чем у станка - качалки по схеме а, в результате того, что при переменной длине заднего плеча балансира действие наибольших нагрузок на шатуне, образующихся в конце рабочего и начале холостого ходов, приходится на время ее приложения к кривошипу с наименьшим плечом.

В диапазоне увеличения длины хода - от 3,0 до 6,0 м и тягового усилия - от 60 до 200 кН, при частоте ходов $n_x=6,0$ 1/мин расчетная мощность электродвигателя возрастает от 11,81 до 78,74 кВт, от 10,75 до 71,7 кВт и от 10,23 до 68,02 кВт соответственно для станков - качалок выполненных по схемам а, б, в. При увеличении длины хода до 7,5 м расчетная мощность электродвигателей дополнительно увеличивается соответственно, до 98,42; 89,62 и 85,02 кВт.

Эти данные позволяют сделать следующие выводы.

Наиболее высокие требования к нагрузочной способности, прочности и надежности звеньев и подшипниковых узлов рычажной системы характерны для станков - качалок со схемой в,

которые отличаются наиболее высокими нагрузками на шатуне, превышающими соответствующие нагрузки станков - качалок схем б и а, соответственно, на 39,3 и 63,5%.

Нагрузки шатуна и других элементов рычажной системы станка - качалки по схеме в является наименее нагруженным. Наибольшей нагрузке подвергается редуктор станка - качалки схемы б, в которой не предусмотрено приложение усилий для поворота головки на переднем плече балансира, значительно меньше, и наименее нагруженной является рычажная система станка - качалки по схеме а, отсутствие в структуре которой гибкой связи шатуна с балансиром и профильной головки на заднем плече балансира ограничивает эти нагрузки в более узком диапазоне.

При наибольшей нагруженности рычажной системы, редуктор станка - качалки схемы б, отличающегося неблагоприятным сочетанием значительной длины кривошипа и интенсивного изменения длины заднего плеча балансира. Это обеспечивает превышение максимального момента нагрузки на кривошипном (тихоходном) валу редуктора по сравнению с соответствующими моментами нагрузок кривошипных валов станков - качалок схем в и а, соответственно, на 7,2 и 13%. Поэтому редукторы станков - качалок по схеме б должны иметь более значительную нагрузочную способность, обеспеченную при проектировании и изготовлении, либо меньший межремонтный срок службы.

Применение станков - качалок схем б и в на рисунке с гибкой связью шатуна с балансиром и профильной головкой на заднем плече балансира вместо станков - качалок распространенной рычаж-

ной схемы а позволяет исключить переменную нагрузку в кинематической цепи привода, негативно влияющую на ресурс и межремонтный период работы, а также снизить энергопотребление,

соответственно, на 9 и 13,6%. При этом экономия электроэнергии при работе в диапазоне тяговых усилий от 60 до 200 кН, частоте ходов балансира 6 1/мин и длинах хода канатной подвески от 3,0 до 6,0 м составит от 1,056 до 7,04 кВт и от 1,608 до 10,72 кВт в час (от 25,34 до 169 и от 39 до 257,3 кВт в сутки). При увеличении длины хода до 7,5 м эта экономия составит до 8,8 и 13,4 кВт в час (211,2 и 312,6 кВт в сутки).

Литература:

1. Сейдалиев Т.О., Ахмеджанов Т.К., Курляндский Ю.Н. Расчет ресурсосберегающего привода штанго-вого скважинного насоса Сборник материалов Международной научно-практической конференции КБТУ "Нефтяное дело" Алматы 2009.
2. Сейдалиев Т.О., Ахмеджанов Т.К., Курляндский Ю.Н. Моделирование при расчете параметров ресурсосберегающего привода штангового скважинного насоса. Сборник материалов Международной научно-практической конференции КБТУ «Нефтяное дело» Алматы 2009.
3. Сейдалиев Т.О., Ахмеджанов Т.К., Курляндский Ю.Н. Метод исследования для расчетов действующих нагрузок в механизмах станков-качалок в течение всего цикла работы Научно-технический журнал. Горный журнал. Журнал Казахстана. №5 2011.

Рецензент: д.т.н., профессор Тилеубаев И.С.