

УДК 622.276.53 (575.2) (04)

АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ НА БАЛАНСИРЕ И ШАТУНЕ СТАНКОВ-КАЧАЛОК ПРИ КРИВОШИПНОМ И КОМБИНИРОВАННОМ УРАВНОВЕШИВАНИИ ПРИ РАБОЧЕМ И ХОЛОСТОМ ХОДЕ

Т.О. Сейдалиев

На основании результатов исследований на модели и расчетов определены момент нагрузки на балансире и нагрузка на шатуне при кривошипном и комбинированном уравновешивании при рабочем холостом ходе.

Ключевые слова: балансир; момент нагрузки; холостой ход; канатная подвеска.

Анализ на основе полученных данных динамики силовых и геометрических параметров в процессе совершения цикла работы исследуемого оборудования позволил установить следующее [1–4].

Принятые в виде постоянных величин значения момента нагрузки на балансире при рабочем и холостом ходах балансиров станков-качалок по схемам **а** и **б**, соответствующие при кривошипном уравновешивании условиям приложения постоянной нагрузки к плечу постоянной величины и отображаемые на рисунке 1 прямыми линиями 1 и 2, при комбинированном уравновешивании преобразуются в переменные величины кривыми 3 и 4. Последние отображают начальное снижение, достижение минимума момента нагрузки на балансире в средней по оси абсцисс части графика, соответствующей середине рабочего и холостого ходов, и значительно меньшие значения момента нагрузки на балансире, чем при кривошипном уравновешивании. Это обусловлено созданием с помощью груза, установленного на заднем плече балансира, переменного момента на балансире с максимальной величиной в средней части рабочего и холостого ходов, уравновешивающего значительную часть момента, создаваемого нагрузкой канатной подвески.

У станка-качалки по схеме **в** (рисунок 1) момент нагрузки на балансире не постоянен и при кривошипном уравновешивании. В процессе рабочего хода он достаточно монотонно снижается, а холостого – повышается. Этот момент формируется в результате суммирования моментов на балансире, создаваемых приложением к его

переднему плечу нагрузок канатной подвески и тяги, поворачивающей поворотную головку вокруг шарнира на переднем плече. При этом момент, создаваемый нагрузкой канатной подвески, изменяется в процессе совершения хода только в результате изменения плеча ее приложения к переднему плечу балансира, причем в небольшом диапазоне, тогда как изменение момента, создаваемого нагрузкой тяги, обусловлено как изменением плеча ее приложения к балансиру, так и изменением самой нагрузки, причем оно более значительно. В процессе рабочего хода плечо **в** приложения этой нагрузки к поворотной головке балансира увеличивается, и поэтому величины нагрузки и создаваемого ею момента на балансире снижаются. При холостом ходе имеет место обратная тенденция: плечо **в** приложения усилия тяги к поворотной головке уменьшается, в связи с чем и усилие тяги F_T и создаваемая этим усилием составляющая момента на балансире увеличиваются.

Закономерности изменения момента на балансире при рабочем и холостом ходах при кривошипном уравновешивании отображены графиками 1 и 2 на рисунке 1 в. Согласно этим графикам, максимальные величины моментов нагрузки на балансире имеют место в конце холостого и в начале рабочего ходов. Это обусловлено наиболее неблагоприятным положением головки поворотной в этой фазе рабочего процесса. В этом положении отношение длины плеча **а** приложения нагрузки канатной подвески к головке поворотной к длине плеча **в** приложения к этой головке реакции тяги F_T максимально. Наибольшие в результате этого значения нагруз-

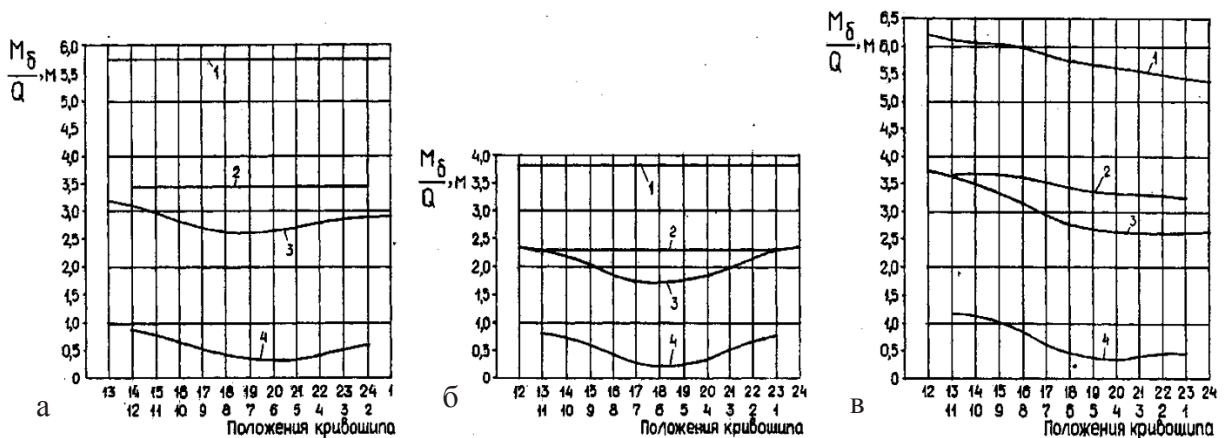


Рисунок 1 – Момент нагрузки на балансира при кривошипном (1, 2) и комбинированном (3, 4) уравнивании; (1, 3) – при рабочем и (2, 4) – при холостом ходе

ки на тягу F_T воспринимаемые шарниром головки поворотной на переднем плече балансира, и создают указанные максимумы моментов нагрузки на балансира в конце холостого и начале рабочего ходов.

Перевод станка-качалки по схеме в на комбинированное уравнивание характеризуется тем же эффектом, что в схемах а и б – значительным уменьшением момента нагрузки на балансира и образованием минимума момента нагрузки в средней части рабочего и холостого ходов.

При этом начальное уменьшение и последующее возрастание плеча a приложения нагрузки канатной подвески к головке поворотной при холостом и рабочем ходах, способствующие аналогичному начальному уменьшению и последующему возрастанию усилия тяги F_T и начальное возрастание и последующее уменьшение плеча c приложения нагрузки F_T к переднему плечу балансира, способствующее обратной закономерности – начальному возрастанию и последующему снижению момента нагрузки на балансира, совместно оказывают на величину этого момента весьма сложное влияние, проявляющееся в характерных перегибах графика момента в зависимости от положения кривошипа.

Значительные различия величины моментов на балансира рассматриваемых станков-качалок обусловлены конструктивными различиями длины переднего плеча балансира и способа формирования нагрузки на переднем плече. Наименьшие значения момента на балансира характерны для станка-качалки по схеме б. Значительно большие величины этого момента в стан-

ке-качалке по схеме а обусловлены большей, чем в схеме б, конструктивной длиной переднего плеча балансира. Наибольшие значения момента нагрузки на балансира, характерные для станка-качалки по схеме в обусловлены приведенными выше особенностями создания и изменения нагрузки на шарнире головки поворотной, закрепленной на переднем плече.

Нагрузка на шатуне (рисунок 2) зависит как от величины момента на балансира, так и от закономерностей изменения длины плеча приложения этой нагрузки к балансиру. У станка-качалки по схеме а, при постоянстве значений момента на балансира при рабочем и холостом ходах в условиях кривошипного уравнивания, при рабочем и холостом ходе нагрузка на шатуне вначале снижается, достигает минимума в средней части и растет в заключительной части, что соответствует противоположной закономерности изменения длины плеча d ее приложения к балансиру при движении шарнира крепления шатуна к балансиру по дуге окружности с центром, расположенным в центре качания балансира. В процессе этого движения плечо d приложения нагрузки шатуна к балансиру в начале хода увеличивается, затем достигает максимума и после этого уменьшается. При небольшом угле поворота балансира в течение цикла работы этого станка-качалки (60°) и, соответственно, небольшом изменении длины этого плеча размах колебаний этой нагрузки (34,8 % при холостом и 44,9 % при рабочем ходах от величины максимума нагрузки) относительно невелик, однако величины нагрузки на шатуне в начале и в конце как рабочего, так и холостого ходов отличаются существенно. Это связано

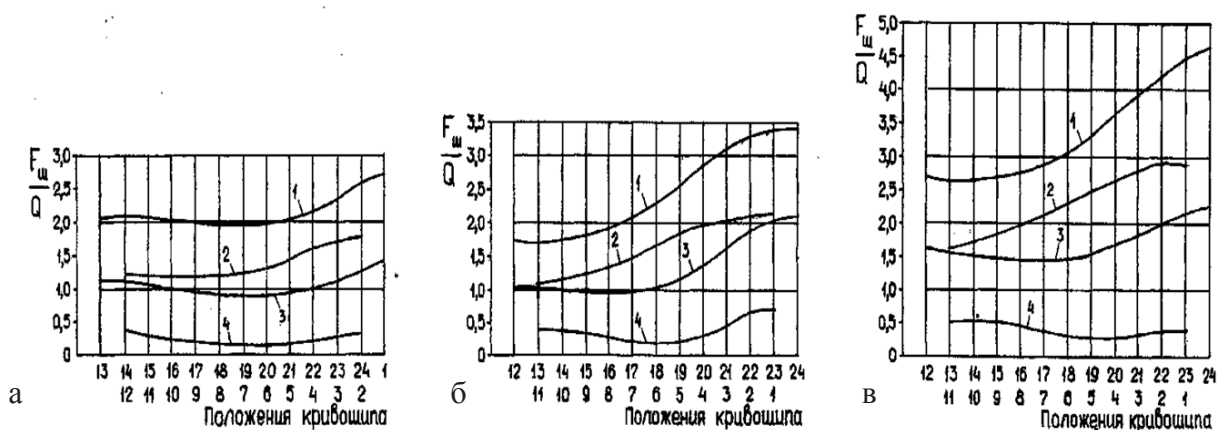


Рисунок 2 – Нагрузка на шатуне при кривошипном (1, 2) и комбинированном (3, 4) уравнивании; (1, 3) – при рабочем, (2, 4) – при холостом ходе

с различием углов между балансиром и шатуном в крайних положениях балансира, имеющим место в результате дезаксиального расположения центра вращения кривошипа в стороне от прямой, проведенной через центры шарнира крепления шатуна к балансиру в крайних положениях последнего. Поэтому нагрузка на шатуне в начале рабочего хода меньше нагрузки в его конце на 28 %. Точно так же нагрузка в конце холостого хода меньше нагрузки в его начале на 31,9 %.

При комбинированном уравнивании величина нагрузки на шатуне значительно меньше, чем при кривошипном (кривые 3, 4 на рисунке 2 а). Максимум нагрузки, имеющий место в конце рабочего и начале холостого ходов уменьшается соответственно на 49,2 и 78,5 %. Точно так же значительно меньшая нагрузка в начале рабочего и в конце холостого ходов снижается соответственно на 45,1 и 74,9 %. Так как уравнивающий момент, создаваемый грузом на балансиру, имеет четко выраженный максимум в средней части рабочего и холостого ходов, для зависимости суммарного момента нагрузки на балансиру от положения кривошипа характерно наличие минимума в этих фазах рабочего процесса (рисунок 1 а). Соответствующий минимум проявляется и в зависимости от положения кривошипа при нагрузке на шатуне.

Для станка-качалки по схеме б при кривошипном уравнивании характерна значительно большая неравномерность нагрузки на шатуне (рисунок 2 б), чем у станка-качалки схемы а. Минимальные нагрузки, имеющие место в начале рабочего и конце холостого ходов, меньше максимальных нагрузок, характерных для конца рабочего и начала холостого хода соответственно на

49,66 и 48,53 %, т. е. почти в два раза, несмотря на то, что значения момента нагрузки на балансиру на всем протяжении рабочего и холостого ходов являются величинами постоянными.

Это обусловлено особенностями конфигурации профиля рабочей поверхности головки на заднем плече балансира, цилиндрическая опорная поверхность которой для гибкой связи выполнена с переменным радиусом относительно центра качания балансира. В процессе поворота балансира при рабочем ходе радиус расположения точки сбега (крайней точки касания) гибкой связи с опорной поверхностью профильной головки относительно центра качания балансира уменьшается. Результатом этого является уменьшение плеча d приложения нагрузки шатуна к балансиру и, при постоянной величине нагружающего момента на балансиру – увеличение этой нагрузки. В процессе холостого хода, напротив, происходит увеличение радиуса точки набегания гибкой связи и плеча d приложения нагрузки шатуна к балансиру, в результате чего нагрузка на шатуне уменьшается.

Перевод на комбинированное нагружение для станка-качалки по схеме б характеризуется тем же эффектом, что и для станка со схемой а – снижением нагрузки на шатуне и наличием четко выраженного минимума этой нагрузки в средней части рабочего и холостого ходов (графики 3 и 4 на рисунке 2 б). При этом снижение максимума нагрузки на шатуне, имеющего место в конце рабочего и начале холостого ходов, составляет соответственно 30,9 и 66 %. Снижение минимальных значений нагрузки на шатуне, характерных для начала рабочего и конца холостого ходов составляет соответственно 39,0 и 64,35 %.

Изменение в течение цикла работы нагрузки на шатуне станка-качалки по схеме **в** определяется двумя основными особенностями: переменностью плеча приложения этой нагрузки к балансиру, обусловленной профилем опорной поверхности для гибкой связи на головке, закрепленной на заднем плече балансира, и показанной выше особенностью формирования нагружающего момента на балансиру, связанной с изменением положения поворотной головки, шарнирно закрепленной на его переднем плече.

При кривошипном уравнивании нагрузка на шатуне определяется, главным образом, закономерностью изменения плеча d ее приложения к заднему плечу балансира. На протяжении всего рабочего хода это плечо монотонно уменьшается, а при холостом – увеличивается. Закономерность изменения нагрузки на шатуне – обратная: в процессе совершения рабочего хода нагрузка возрастает, при холостом ходе – уменьшается, несмотря на то, что закономерность изменения момента на балансиру противоположна. Однако влияние последней проявляется в том, что соотношение максимальной и минимальной нагрузок на шатуне при рабочем и холостом ходе – соответственно, равное 1,781 и 1,777, меньше чем у станка-качалки по схеме **б**, соответственно, имеющее значение 1,986 и 1,943. При этом влияние изменения положения поворотной головки на переднем плече балансира наиболее заметно проявляется в начале рабочего хода, когда в процессе выведения головки из крайнего нижнего положения момент нагрузки на балансиру интенсивно снижается, тогда как уменьшение плеча приложения нагрузки шатуна к балансиру является наименее скоростным. В результате этого нагрузка на шатуне в начале рабочего хода изменяется медленно. Однако в процессе совершения рабочего хода, несмотря на уменьшение момента на балансиру, необходимого для поворота головки в направлении рабочего хода, в результате уменьшения плеча приложения нагрузки шатуна к балансиру интенсивность возрастания этой нагрузки, особенно в средней части рабочего хода, значительно увеличивается. В заключительной части рабочего хода интенсивность роста этой нагрузки вновь снижается в связи с переходом головки поворотной к крайнему верхнему положению, при приближении к которому создаваемый ею момент на балансиру снижается наиболее быстрыми темпами.

Уменьшение нагрузки на шатуне в процессе совершения холостого хода в результате

увеличения плеча d приложения этой нагрузки к балансиру также неравномерно. Замедленные темпы ее снижения в начале и в конце холостого хода обусловлены замедленным поворотом балансира с помощью кривошипно-шатунного механизма в этих фазах рабочего процесса.

Кроме того, замедленному снижению нагрузки на шатуне на протяжении всего холостого хода способствует увеличение момента нагрузки на балансиру, обусловленное поворотом головки на переднем плече из верхнего в нижнее положение.

При комбинированном нагружении его общие особенности, проявляющиеся в уменьшении величины рабочей нагрузки на шатуне и в закономерности ее изменения, для которой характерны наличие минимума ее величины в средней части рабочего и холостого ходов, дополняются значительным влиянием закономерности изменения момента на балансиру, связанной с поворотом головки на его переднем плече. Проявлением этого влияния является значительно меньшее, чем при кривошипном уравнивании, отношение нагрузок на шатуне в конце и начале рабочего хода, равное 1,39, и противоположная имеющей место при кривошипном уравнивании закономерность увеличения нагрузки на шатуне в конце холостого хода по сравнению с нагрузкой в его начале.

В связи с особенностями формирования нагрузки на балансиру, связанными с наличием и движением поворотной головки, при кривошипном уравнивании максимальная нагрузка рабочего хода на шатуне станка-качалки по схеме **в** превосходит такую же нагрузку станков-качалок по схемам **б** и **а** соответственно в 1,37 и 1,63 раза, тогда как при холостом ходе эти соотношения составляют соответственно 1,438 и 1,645.

При комбинированном уравнивании эти соотношения составляют соответственно 1,093 и 1,569; 0,787 и 1,429.

Литература

1. Бабуков А.Г. Механика глубинного насоса: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / А.Г. Бабуков. М.: Институт механики АН СССР, 1953.
2. Узумов И.Г. К вопросу определения нагрузки на наземное оборудование в течение цикла работы глубинного насоса / И.Г. Узумов // Нефть и газ. 1966. № 2. С. 104–108.
3. Молчанов А.Г. Гидроприводные штанговые насосные установки / А.Г. Молчанов. М.: Недра, 1982.
4. Мищенко И.Т. Расчеты в добыче нефти / И.Т. Мищенко. М.: Недра, 1989. 245 с.