

УДК 621.516

**А.И. Ходырев**, д.т.н., профессор, e-mail: aihod@gubkin.ru; **С.С. Пекин**, к.т.н., доцент, e-mail: pekinss@gmail.com; **А.А. Филиппов**, аспирант, РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, e-mail: aafil@yandex.ru

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НЕРАВНОМЕРНОСТИ МГНОВЕННОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ДИНАМИКИ ПРИВОДНОЙ ЧАСТИ ПЯТИ- И ШЕСТИКАМЕРНЫХ ДОЖИМНЫХ НКУ

*Представлены результаты исследования производительности и динамики приводной части дожимных насосно-компрессорных установок на базе плунжерных насосов. Расчеты позволили сравнить параметры пяти- и шестикамерных установок.*

**Ключевые слова:** НКУ, бустер, неравномерность, производительность, динамика, триплекс, ГЖС.

Для одновременной утилизации попутного нефтяного газа и повышения нефтеотдачи пластов в ряде случаев применяют так называемые дожимные насосно-компрессорные установки (НКУ) [1], в которых сжатие газа происходит проточным жидкостным поршнем. Такие установки применяются для создания высоких давлений газа или газожидкостной смеси (до 40 МПа), подаваемой в скважину, при этом может быть использован неподготовленный попутный нефтяной газ. Общая схема дожимной НКУ представлена на рисунке 1.

В общем случае такие установки состоят из основного (базового) насоса, на цилиндры которого установлены специальные компрессионные камеры. В компрессионные камеры осуществляется подвод газа, который сжимается жидкостным поршнем. Применение проточного жидкостного поршня позволяет улучшить теплообмен в камере и снизить температуру при повышении давления. Это достигается тем, что при нагнетании компримированного газа с ним в нагнетательный коллектор выталкивается 2–5% жидкостного поршня, т.е. наиболее горячая часть поверхностного слоя жидкостного поршня. Пополнение объема жидкостного поршня

происходит за счет подвода жидкости питательным насосом в цилиндр основного насоса.

Эффективность работы дожимных НКУ зависит от характера движения жидкостного поршня, отношения давлений, мертвого объема, обусловленного проникновением газа в жидкостной поршень, и ряда других параметров. Из

литературы известно, что значительное отношение давлений при малом расходе подпиточной жидкости приводит к значительным неравномерным нагрузкам в приводе, в частности появляются стуки. Это объясняется как существенным снижением объема газа, так и обратным моментом, вызванным расширением остаточного газа. Объем

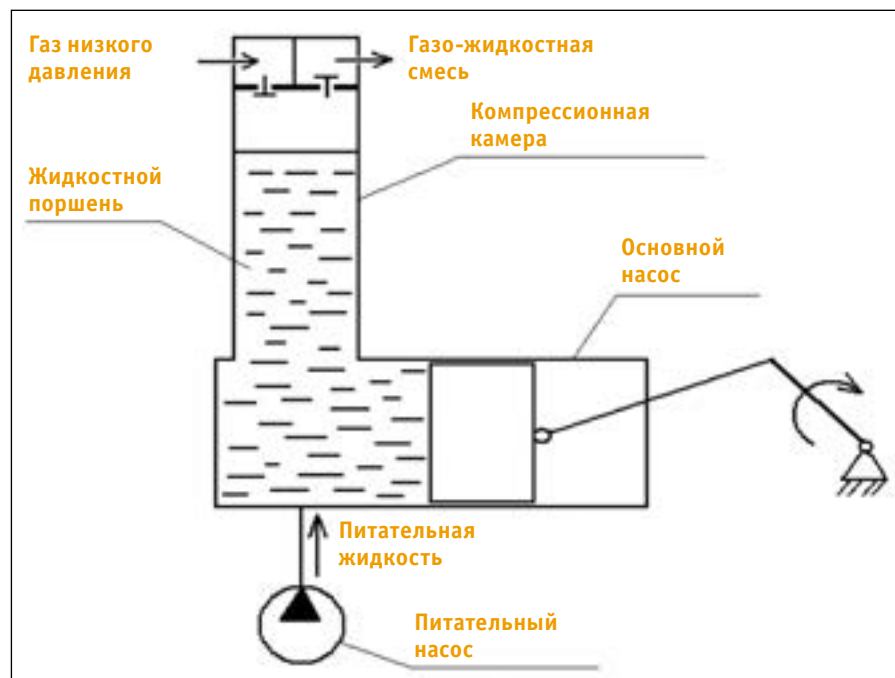


Рис. 1. Схема дожимной НКУ

остаточного газа зависит от режимов сжатия и всасывания в НКУ, а также от запаздывания закрытия нагнетательного клапана.

Если в жидкостном поршне есть остаточный газ, занимающий определенный объем в компрессионной камере, то для однокамерной установки всегда существует обратный момент при стадии расширения. Поэтому важно исследовать конструктивные схемы, которые будут иметь минимальный обратный момент. Еще одной проблемой при высоком отношении давлений является то, что большую долю такта занимает сжатие газа без выталкивания, в результате поток в напорном трубопроводе получается пульсирующим [2], поэтому исследование схем и влияние на эту характеристику различных компоновок и режимов представляет актуальную задачу.

В работе [2] авторами был проведен сравнительный анализ дуплексных и триплексных НКУ по неравномерности мгновенной производительности и момента на коренном валу установки, показавший, что дуплексные НКУ по этим двум параметрам более предпочтительны, чем триплексные в широком диапазоне начальных параметров. При этом для минимизации обратного момента на коренном валу установки в работе [3] было предложено увеличить число компрессионных камер с трех до пяти и применить для привода пятиплунжерный насос. Однако из-за своей громоздкости и сложности производства и обслуживания такие установки пока не получили распространения.

В работе [4] предложено увеличить число компрессионных камер установки до шести, используя для этого два трехплунжерных насоса (два триплекса), коренные валы которых соединены между собой с расфазировкой в 60°. Данное техническое решение позволяет применять широко распространенные триплексные установки. В связи с этим весьма интересной задачей оказалось сравнение пяти- и шестикамерных НКУ по равномерности производительности и момента сопротивления на коренном валу установки. Для этого использована математическая модель, описанная в работе [2], реализованная в виде программ в среде MathCad.

Моделирование показало, что для пяти- и шестикамерной НКУ с увеличением отношения давлений возникают и ра-

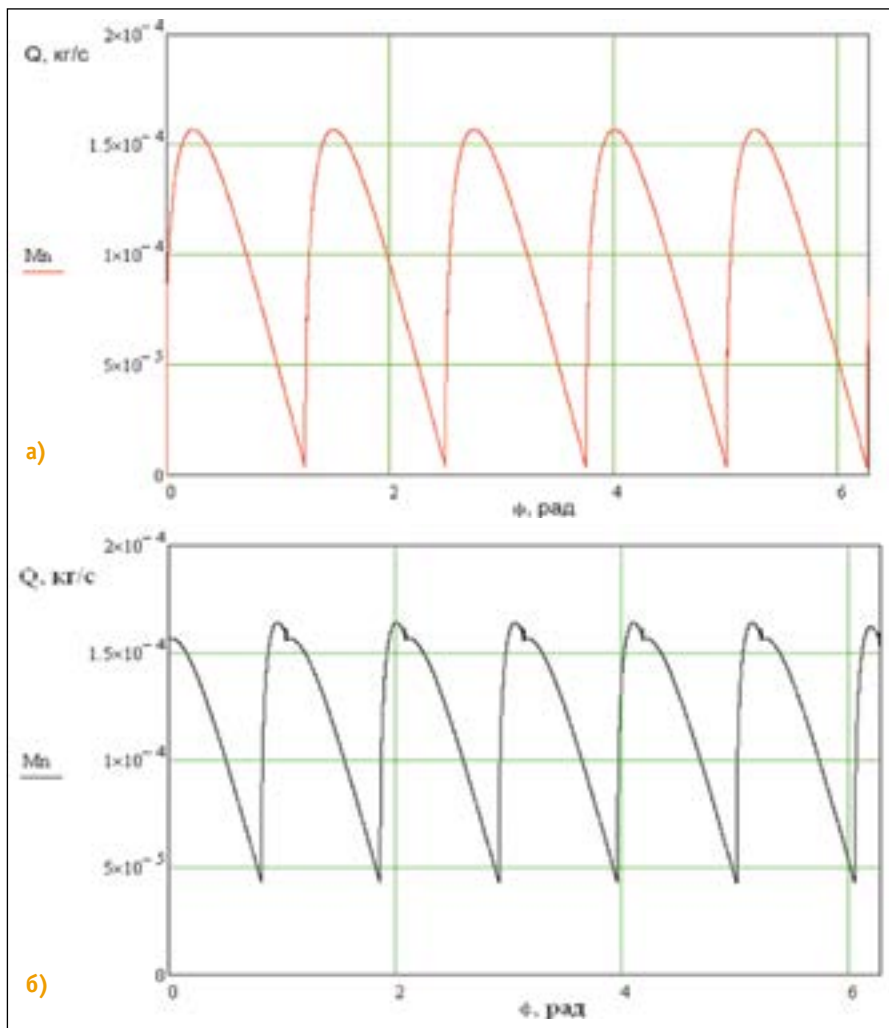


Рис. 2. График зависимости мгновенной производительности а) пяти- и б) шестикамерной НКУ от угла поворота кривошипа ( $\rho_{ac}=4\text{МПа}$ ,  $\varepsilon=3,5$ ,  $n_{ог}=2\text{с}^{-1}$ )

стут промежутки времени, в течение которых ни в одной камере нет процесса выталкивания газа, т.е. газ поступает в нагнетательный коллектор порциями. При этом в диапазоне относительного повышения давления, характерного для обычных поршневых компрессоров ( $\varepsilon = 3-3,5$ ), такие промежутки отсутствуют у этих установок, т.е. нагнетание происходит хотя и неравномерно, но непрерывно (рис. 2). Однако при характерном для НКУ отношении давлений  $\varepsilon = 8$  эти промежутки есть у обеих установок, причем появляются они у пятикамерной НКУ при  $\varepsilon$  более 3,7, а у шестикамерной – при  $\varepsilon$  более 5,5.

Также установлено, что для этих установок суммарная продолжительность стадий нагнетания за цикл уменьшается при увеличении отношения давлений, а продолжительность разрывов между стадиями нагнетания увеличивается. Так, при отношении давлений  $\varepsilon = 8$  суммарная стадия нагнетания для триплексных НКУ составляет 153° за

цикл, для пятикамерных – 258°, а для шестикамерных – 306°.

На рисунке 3 показаны графики изменения мгновенной производительности НКУ на базе триплекса, пятиплунжерного насоса и двух триплексов.

Моделирование показало, что степень неравномерности производительности, равная отношению максимальной производительности к средней, для пятикамерной НКУ ниже степени неравномерности производительности триплексной установки в 1,7 раза, а степень неравномерности производительности шестикамерной НКУ ниже степени неравномерности пятикамерной установки в 1,2 раза, поскольку максимальное значение производительности для всех установок остается неизменным, а среднее – растет с увеличением числа компрессионных камер. Таким образом, шестикамерная НКУ имеет более равномерную характеристику мгновенной производительности по сравнению с двумя другими установками.

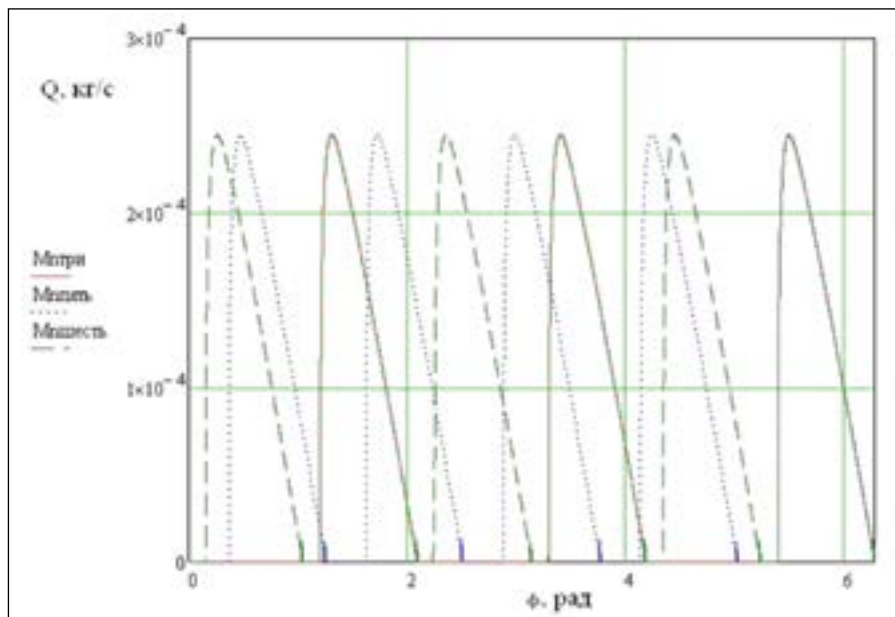


Рис. 3. Сравнительная диаграмма изменения мгновенной производительности НКУ на базе триплекса, пятиплунжерного насоса и двух триплексов ( $\rho_{вс}=4\text{МПа}$ ,  $\varepsilon=8$ ,  $n_{06}=2\text{с}^{-1}$ )

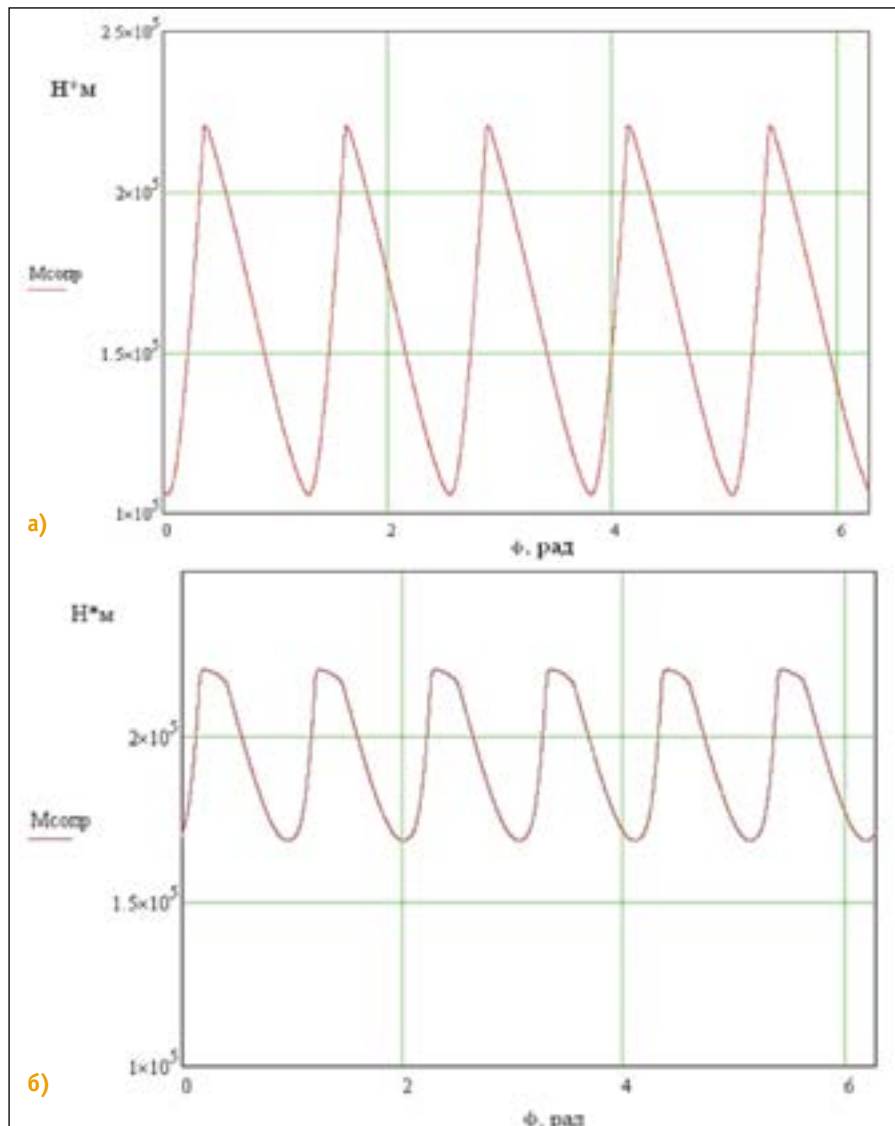


Рис. 4. Диаграмма изменения момента сопротивления на коренном валу а) пяти- и б) шестикамерной НКУ ( $\rho_{вс}=4\text{МПа}$ ,  $\varepsilon=8$ ,  $n_{06}=2\text{с}^{-1}$ )

Анализ математической модели показал, что момент сопротивления на коренном валу пяти- и шестикамерной НКУ является весьма неравномерной величиной. На вид диаграммы момента сопротивления существенное влияние оказывает отношение давлений. Эти установки позволяют значительно поднять отношение давлений при отсутствии обратного момента на коренном валу установки. Как показано на рисунке 4, и у пяти-, и у шестикамерной НКУ обратный момент отсутствует при  $\varepsilon=8$ . При этом с увеличением  $\varepsilon$  нижняя граница диаграммы к нулевому значению не приближается, только растет амплитуда прямого момента.

На рисунке 5 показана сравнительная диаграмма изменения момента сопротивления на коренном валу НКУ на базе триплекса, пятиплунжерного насоса и двух триплексов, из которой видно, что у шестикамерной НКУ степень неравномерности момента сопротивления на коренном валу установки существенно меньше по сравнению с двумя другими установками. Так, у шестикамерной НКУ степень неравномерности момента сопротивления на коренном валу установки при  $\varepsilon=8$  ниже по сравнению с триплексной в 2 раза, а по сравнению с пятикамерной – в 1,3 раза. При этом у триплексной НКУ возможно появление обратного момента.

Таким образом, моделирование показало, что шестикамерные НКУ позволяют создать большее относительное повышение давления при отсутствии обратного момента на коренном валу установки, а также имеют меньшую степень неравномерности прямого момента сопротивления на коренном валу и производительности установки по сравнению с триплексными и пятикамерными НКУ.

Кроме того, моделирование показало, что у шестикамерных НКУ на базе двух триплексов за счет увеличения рядности наблюдаются «прямые» моменты меньшей неравномерности и амплитуды, что упростит уравнивание системы по сравнению с пятикамерными НКУ.

Таким образом, проведенное моделирование позволяет сделать вывод о том, что шестикамерная НКУ характеризуется более равномерными мгновенной производительностью и моментом сопротивления на коренном валу установ-

ки, чем пятикамерная. В этой связи по этим двум параметрам шестикамерные НКУ являются более предпочтительными в широком диапазоне начальных параметров.

**Литература:**

1. Чубанов О.В., Харланов С.А., Нургалиев Р.Г. Разработка и внедрение водогазовых методов повышения нефтеотдачи в ОАО «РИТЭК» // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2008. – № 9. – С. 42–48.
2. Ходырев А.И., Филиппов А.А., Мартынов В.Н. Анализ неравномерности и динамики приводной части бустерных насосно-компрессорных установок // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2011. – № 10. – С. 74–79.
3. Мартынов В.Н. Разработка и исследование мобильного нефтегазопромыслового оборудования для нагнетания газов и многофазных сред: Дисс. канд. техн. наук. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2009. – 230с.
4. Патент на полезную модель RU 123471 U1. Установка для нагнетания газожидкостной смеси / В.Н. Ивановский, А.И. Ходырев, С.С. Пекин, А.А. Филиппов. Оpub. 27.12.2012.
5. Пластинин П.И. Поршневые компрессоры. – М.: КолосС, 2006. – Т. 1. Теория и расчет. – 456 с.

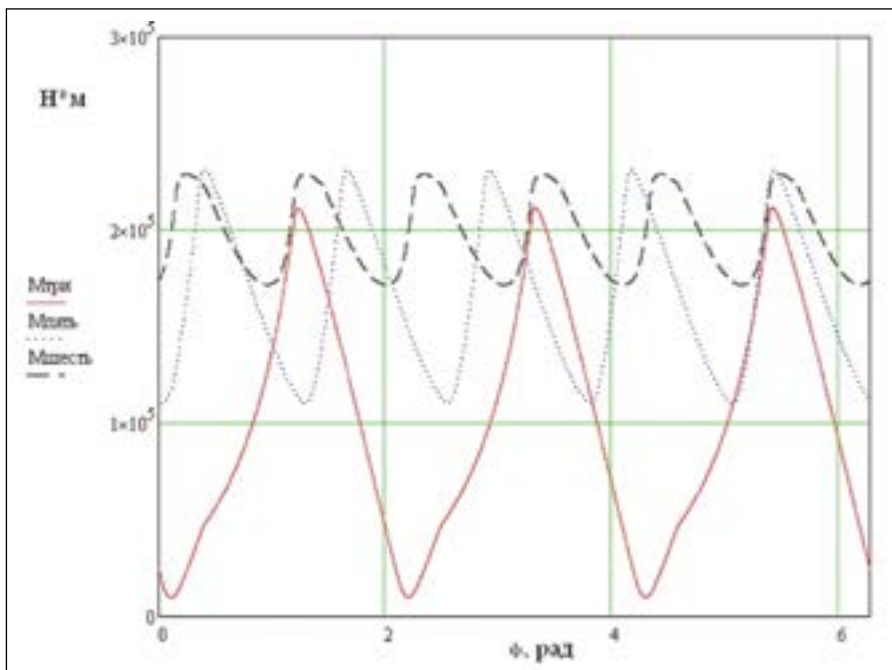


Рис. 5. Сравнительная диаграмма изменения момента сопротивления на коренном валу НКУ на базе триплекса, пятиплунжерного насоса и двух триплексов ( $\rho_{вс}=4\text{МПа}$ ,  $\varepsilon=8$ ,  $n_{ог}=2\text{с}^{-1}$ )

**Well operation**

A.I. Hodirev, Dr.Sci.Tech., professor, e-mail: aihod@gubkin.ru; S.S. Pekin, Cand. Tech. Sci., associate professor, e-mail: pekinnss@gmail.com; A.A. Philippov, post-graduate student, Gubkin university of oil and gas, e-mail: aafil@yandex.ru

**The comparative analysis of unevenness of instant productivity and dynamics of driving part of five – and six-chambers booster pump-compressor installations**

Results of research of productivity and dynamics of driving part of booster pump and compressor installations on the basis of plunger pumps are presented. Calculations allowed to compare parameters of five - and six-chamber installations.

**Keyword:** pump-compressor installation, non-uniformity, dynamics, productivity, three-plunger, gas-liquid mix.

**References:**

1. Chubanov O.V., Kharlanov S.A., Nurgaliyev R.G. Razrabotka i vnedrenie vodogazovykh metodov povysheniya nefteotdaci v ОАО «РИТЕК» (Development and implementation of water-gas methods to enhance oil recovery at RITEK JSC) // NEFTEGAS Territory. – 2008. – No. 9. – P. 42–48.
2. Khodyrev A.I., Philippov A.A., Martynov V.N. Analiz neravnomernosti mgnovЕННОЙ proizvoditel'nosti i dinamiki privodnoi chasti busternykh nasosno-kompressornykh ustnovok (Analysis of non-uniformity of instantaneous performance and dynamics of booster pump and compressor plants power ends) // NEFTEGAS Territory. – 2011. – No. 10. – P. 74–79.
3. Martynov V.N. Razrabotka i issledovanie mobil'nogo neftegazopromyslovogo oborudovaniya dlya nagnetaniya gazov i mnogofaznykh sred (Development and study of mobile oil and gas field equipment for injecting gases and multiphase media): Thesis of Candidate of Engineering Science – Moscow: Gubkin Russian State University of Oil and Gas, 2009. – 230 p.
4. Patent for utility model RU 123471 U1. Ustanovka dlya nagnetaniya gazozhidkostnoi smesi (Plant for liquid gas mixture injection) / V.N. Ivanovskiy, A.I. Khodyrev, S.S. Pekin, A.A. Philippov. Published on 27.12.2012.
5. Plastinin P.I. Porshnevye kompressory (Reciprocating compressors). – Moscow: KolosS, 2006. –V. 1. Theory and calculation. – 456 p.

# ВНУТРЕННЯЯ ИЗОЛЯЦИЯ СТАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ И НКТ

426039, г. Ижевск, Воткинское шоссе, д. 170 ♦ тел.: (3412) 567-719 ♦ udmprk.ru, udmprk.pф



**Удмуртская Промышленная Компания**