

УДК 621.883

Красовский С. С.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИМПУЛЬСНО-ФРИКЦИОННЫХ ГАЙКОВЕРТОВ С ЗАТЯГИВАЕМЫМ РЕЗЬБОВЫМ СОЕДИНЕНИЕМ

В общем объеме ремонтных работ на нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводах слесарно-сборочные работы занимают свыше 70 %. Опыт показывает, что сборка и разборка резьбовых соединений (РС), особенно средних и больших размеров, в условиях нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов – одна из наиболее сложных, трудоемких и распространенных операций [1].

Для механизации сборки-разборки крупных резьбовых соединений наиболее целесообразно и хорошо зарекомендовало себя на практике применение устройств статического принципа действия – трещеточных рычажных ключей с гидравлическим приводом и ключей-мультипликаторов с пневматическим или универсальным приводом [2, 3].

В то же время эти устройства на операциях сборки-разборки резьбовых соединений средних размеров проигрывают в сравнении с устройствами импульсного принципа действия, которые отличаются малым реактивным моментом по сравнению с развиваемым моментом на ключе [1, 4].

К сожалению проблема обеспечения ремонтного производства импульсным механизированным резьбовозавинчивающим инструментом пока ещё не может считаться решенной удовлетворительным образом. Серийно выпускаемый в настоящее время пневматический ударно-импульсный гайковерт ИП 3106 малоэффективен при затяжке энергоемких резьбовых соединений (с длинными шпильками, податливыми прокладками и т. д.), характерных для нефтехимического производства. Его верхний практический предел для таких резьбовых соединений среднего класса прочности ($\sigma_m = 500\text{--}600$ МПа) составляет М24–М27. Более мощные импортные ударно-импульсные гайковерты – дефицитны по своим технико-эксплуатационным характеристикам, вообще говоря, оставляют желать лучшего. Например, пневматический ударно-импульсный гайковерт модели FW-40Z-3 японской фирмы Fuji Air Ca, Ltd хотя и обеспечивает надежную затяжку резьбовых соединений размером до 36–42 мм, но имеет большую массу 16,5 кг и сильно вибрирует при работе.

Целью работы является разработка перспективных направлений решения вышеуказанной проблемы созданием импульсно-фрикционных гайковертов (ИФГ) и выработка рекомендаций по выбору типоразмеров гайковертов для затяжки различных диапазонов диаметров резьбовых соединений [5, 6]. По сравнению с ударно-импульсными гайковертами ИФГ более надежны и долговечны, не вибрируют при работе и оказывают меньшие реактивные воздействия на руки оператора.

Для обоснованного выбора конструктивных параметров ИФГ были проведены теоретические и экспериментальные исследования динамики взаимодействия ИФГ с затягиваемым резьбовым соединением. Как показывают эти исследования, гайковерт должен быть рассчитан на момент, в два раза превышающий момент гайковерта предыдущего диапазона:

$$\frac{M_{i+1}}{M_i} = \frac{d_{i+1}^3}{d_i^3} \approx 2,0. \quad (1)$$

Так момент затяжки в любом случае пропорционален кубу диаметра крепежной детали:

$$M = 0,758K \cdot \sigma \cdot d^3, \quad (2)$$

где K – коэффициент сопротивления;

σ – напряжение затяжки;

d – диаметр крепежной детали.

Для обоснования выбора типоразмеров ИФГ проведем оценочный расчет параметров РС и ИФГ, определяющих эффективность процесса затяжки.

С точки зрения эффективности процесса импульсно-фрикционной затяжки, РС характеризуется следующими двумя параметрами:

– Коэффициентом крутильной псевдожесткости РС при затяжке K_R ;

– Требуемым моментом затяжки M_R .

Коэффициент крутильной псевдожесткости РС определяется по формуле:

$$K_R = \frac{K \cdot S \cdot d}{2\pi \cdot (\lambda_{\sigma} + \lambda_{\delta})}, \quad (3)$$

где K – приведенный коэффициент трения в РС;

S – шаг резьбы;

d – наружный диаметр резьбы;

λ_{σ} , λ_{δ} – коэффициенты осевой податливости болта и стягиваемых деталей соответственно.

Коэффициент осевой податливости болта представляется в виде суммы:

$$\lambda_{\sigma} = l_{\sigma} / E_{\sigma} \cdot F_{\sigma} + \lambda_p + \lambda_{\sigma.б.},$$

где l_{σ} – расстояние от торца гайки до торца головки болта (постоянного сечения);

F_{σ} – площадь поперечного сечения болта;

E_{σ} – модуль упругости;

λ_p , $\lambda_{\sigma.б.}$ – коэффициенты осевой податливости резьбы и головки болта.

Для приближенных расчетов можно использовать следующие формулы:

$$\lambda_p \approx (0,95 - 0,8) / (dE), \text{ при } d/S = 6 \dots 10;$$

$$\lambda_p \approx (0,80 - 0,70) / dE, \text{ при } d/S = 10 \dots 20;$$

$$\lambda_{\sigma.б.} = 0,15 / (h \cdot E_{\sigma}),$$

где h – высота головки болта.

Коэффициент осевой податливости стягиваемых деталей определим по формуле:

$$\lambda_{\delta} = \lambda_{\sigma} \cdot \chi / (1 - \chi), \quad (4)$$

где χ – коэффициент осевой нагрузки, величина которого для РС общего назначения составляет 0,2–0,4 [6].

Если положить $l_{\sigma} = 6d$, $h = 1,5d$, то величина коэффициента осевой податливости болта М36 составит, согласно приведенным формулам, $0,14 \cdot 10^{-8}$ м/Н. Тогда для λ_{δ} , принимая $\chi = 0,3$, получим значение $0,6 \cdot 10^{-8}$ м/Н. Для РС без покрытия и смазки значение приведенного коэффициента трения в РС принимают обычно 0,2. Подставляя это значение и найденные значения λ_{σ} и λ_{δ} в формулу (3), найдем $K_R = 2290$ Нм/рад. Для РС при классе прочности болта 6.6 по ГОСТ 1759-70 требуемый момент затяжки составит:

$$M_R = K \cdot 0,7 \cdot \sigma_m \cdot F_{\sigma} \cdot d \approx 1440 \text{ Нм},$$

где σ_m – предел текучести материала болтов.

Оценим эффективность затяжки рассматриваемого РС импульсно-фрикционным гайковертом (рис. 1).

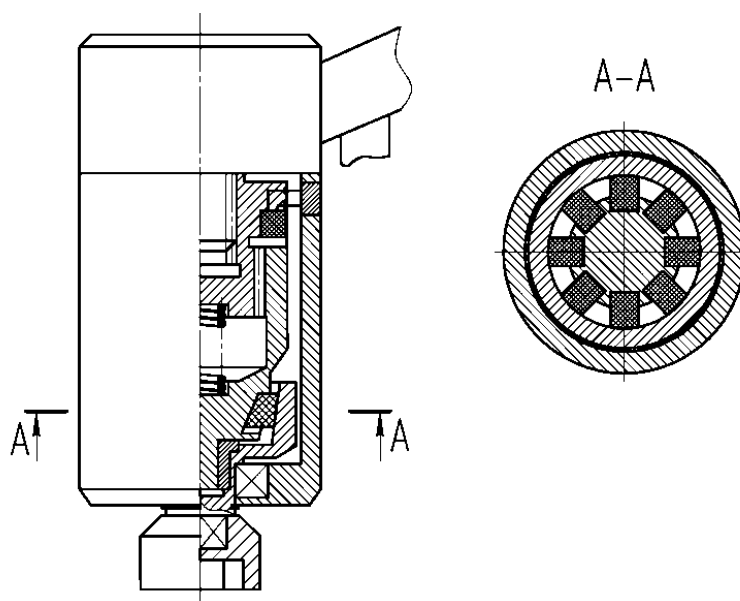


Рис. 1. Импульсно-фрикционный гайковерт

Для этой конструкции при радиальном габарите 120 мм и осевом 300 мм, масса гайковерта составляет 9,7 кг, номинальный статический фрикционный момент – $M_f = 410^{+10}_{-30}$ Нм; момент инерции маховых масс $I = 0,89 \cdot 10^{-2}$ кг·м²; момент инерции маховых масс $I_2 = 0,27 \cdot 10^3$; максимальная угловая скорость пластинчатого пневмомотора $\omega_{10\max} = 520$ с⁻¹; максимальная энергия вращательного импульса $T_{10} = 12 \cdot 10^{-2}$ Дж.

Наиболее эффективно использование ИФГ в так называемом режиме свободного разгона ключа (СРК), при котором затяжка осуществляется за один вращательный импульс большой энергии, причем ключ гайковерта (с гайкой) имеет возможность свободно разогнаться на участке навинчивания РС. В этом случае эффективность процесса затяжки может быть оценена следующим образом. Определяем значение безразмерного момента затяжки:

$$\mu = \frac{M_R}{M_f} = \frac{1440}{410} \approx 3,5. \quad (5)$$

Определяем значение инерционного параметра по формуле:

$$\zeta = \frac{(\mu - 1)(\mu - 2\sigma + 1)}{4(2\sigma - 1)} \left[\sqrt{1 + \frac{8(2\sigma - 1)}{(\mu - 1)(\mu - 2\sigma + 1)}} - 1 \right], \quad (6)$$

где σ – коэффициент, учитывающий в нулевом приближении кинематическую характеристику коэффициента трения; для асбополимерных фрикционных материалов значение этого коэффициента составляет 0,7...0,85.

Для $\mu = 3,5$ и среднего значения $\sigma = 0,8$ в соответствии с вышеуказанной формулой получим $\zeta = 0,87$.

Определим значение необходимой безразмерной начальной энергии вращательного импульса по формуле:

$$\gamma = \frac{\left\{ \frac{8(2\sigma-1)}{(\mu-1)(\mu-2\sigma+1)} + 2 \left[\sqrt{1 + \frac{8(2\sigma-1)}{(\mu-1)(\mu-2\sigma+1)}} - 1 \right] \right\}}{\frac{64(\sigma-1)}{[(\mu-1)(\mu-2\sigma+1)]^2} \left[\sqrt{1 + \frac{8(2\sigma-1)}{(\mu-1)(\mu-2\sigma+1)}} - 1 \right]} \cdot \left[3 + \sqrt{1 + \frac{8(2\sigma-1)}{(\mu-1)(\mu-2\sigma+1)}} \right]. \quad (7)$$

Численное значение этой величины в нашем случае получается $\gamma = 32$.

Определим значение характерной начальной энергии:

$$T_{10}^* = \frac{M_f^2}{2K_R} \approx 3,7 \text{ Дж.}$$

Определим величину необходимой начальной энергии вращательного импульса.

$$T_{10} = \gamma \cdot T_{10}^* \approx 1180 \text{ Дж.}$$

Как видим, эта величина находится в пределах энергетических возможностей рассматриваемого типоразмера ИФГ.

Для составления таблицы типоразмеров ИФГ по рекомендуемым диапазонам резьб используем соотношения теории размерностей и подобия. Из этой теории следует, что:

$$M_f \sim d^3; \quad m \sim d^3; \quad T_{10} \sim d^3.$$

ВЫВОДЫ

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований динамики взаимодействия ИФГ с затягиваемым РС определены величины начальной энергии вращательного импульса для различных диапазонов диаметров резьб, которые приведены в табл. 1.

Таблица 1

Импульсно-фрикционные гайковерты

Диапазон резьб	Габариты ИФГ, мм	Масса ИФГ, кг	Масса инерционной головки, кг	Статический фрикционный момент, Нм
M30–M36	330 × 120 × 120	9,7	2,7	410
M22–M27	250 × 90 × 90	4	1,1	173
M16–M20	180 × 65 × 65	1,7	0,46	70

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Егоров Ю. А. *современные методы и средства сборки и разборки резьбовых соединений на машинах и аппаратах нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности* / Ю. А. Егоров. – М. : Машиностроение, 1979. – 130 с.
- А. с. 1710327 СССР. *Гайковерт для сборки крупных резьбовых соединений* / С. С. Красовский (СССР). – № 4791817; заявл. 19.02.1990; опубл. 1992; Бюл. № 5.
- А. с. 1618615 СССР. *Рычажный гайковерт для затяжки резьбовых соединений* / В. Н. Бузунов, С. С. Красовский, Г. Д. Славутский (СССР). – № 4427781; заявл. 20.05.1988; опубл. 1991; Бюл. № 1.
- Красовский С. С. *Механизация сборки резьбовых соединений в машиностроении: теория, исследования, технология, конструкции* : монография / С. С. Красовский. – Краматорск : ДГМА, 2011. – 148 с.
- Пат. 47210 Украина. *Импульсно-фрикционный гайковерт* / Красовский С. С., Хорошайло В. В. – № u200906684; заявл. 25.06.2009; опубл. 2010, Бюл. № 2.
- Materialy VIII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji "Strategiczne pytania światowej nauki – 2012" Volume 30. *Techniczne nauki : Przemysł. – Nauka i studia.* – S. 24–28.