

С. В. ТКАЧЕНКО, Ю. Ф. ПЛУЖНИК, Ф. В. НОВИКОВ, докт. техн. наук,
(г. Харьков)

ВЛИЯНИЕ ШИРИНЫ ПОВЕРХНОСТИ КОЛЬЦА РЕЛИТОВОГО ТОРЦОВОГО УПЛОТНЕНИЯ НИЖНЕГО КОНЦА ВАЛА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ НА ЕГО РАБОТОСПОСОБНОСТЬ

Приведены результаты экспериментальных исследований влияния ширины поверхности кольца релитового торцового уплотнения нижнего конца вала электродвигателя на его работоспособность.

The results of experimental research of influence of surface race width of frontal compaction of lower end of motor shaft on its work ability are presented.

Для эффективной работы нижнего конца вала электродвигателя получили применение релитовые торцовые уплотнения [1, 2, 3].

Известно, что чем выше перепады давления, тем больше утечка масла через релитовые торцовые уплотнения. Поэтому необходимо обеспечить их высокую герметичность, чтобы электробур мог надежно работать на забое скважины достаточно продолжительное время, пока не будет обеспечена полная отработка долота, т.е. чтобы из-за необходимости производить подкачку масла в электробур не нужно было бы осуществлять преждевременный подъем электробура из скважины.

Поэтому целью работы является анализ результатов экспериментальных исследований надежности работы релитового торцового уплотнения нижнего конца вала электродвигателя.

Поэтому целью работы является анализ результатов экспериментальных исследований надежности работы релитового торцового уплотнения нижнего конца вала электродвигателя.

Экспериментальными исследованиями доказано преобладающее влияние

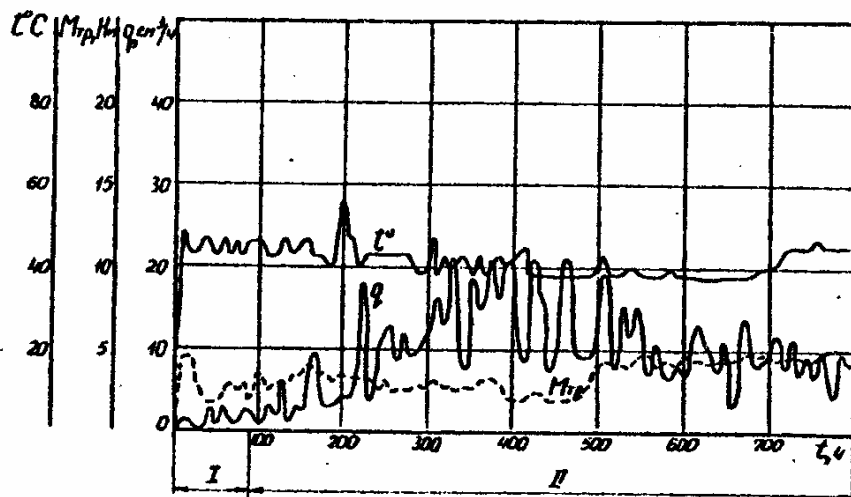


Рис. 1. Зависимости утечки масла, момента трения и средней температуры от времени испытания торцового уплотнения ($n=280$ об/мин, $b=3,5 \dots 7$ мм, масло трансформаторное): I — $\Delta P=1 \dots 7$ МПа; II — $\Delta P=7$ МПа.

теплового режима в паре трения релитового торцового уплотнения. Поэтому были проведены испытания релитовых торцовых уплотнений с трансформаторным маслом, но с уменьшенной шириной уплотняющей поверхности, равной

3,5 мм. При этом торцовая поверхность одного из колец была выполнена с шириной 7 мм. Эти испытания проводились в рабочем узле, предназначенном для проверки на герметичность одного торцового уплотнения. Было проведено три испытания с трансформаторным маслом при частоте вращения 280 об/мин.

На рис. 1 представлены результаты испытания одного торцового уплотнения, невращающееся кольцо которого было выполнено с шириной релитовой поверхности 7 мм. И как видно из графика, утечка масла при $\Delta P=7$ МПа достигла средней величины ≈ 13 см³/ч, тогда как при двух других испытаниях не превышает в основном 2 см³/ч. Это можно объяснить колебанием величины зазора, связанное с вращением контактной поверхности на широком невращающемся кольце. На профилограмме рис. 2 отчетливо видна выработка на кольце с шириной релитовой поверхности 7 мм, средний линейный износ которой составил около 0,01 мм.

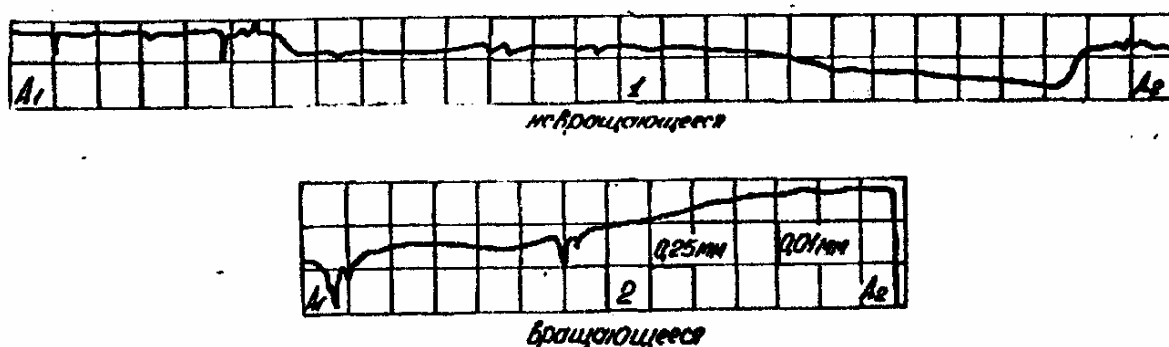


Рис. 2. Профилограммы уплотняющей поверхности релитовых торцовых уплотнений после испытания с трансформаторным маслом ($\Delta P=7$ МПа; $n=280$ об/мин; общее время работы 796 ч): 1 - $b=7$ мм; 2 - $b=3,5$ мм.

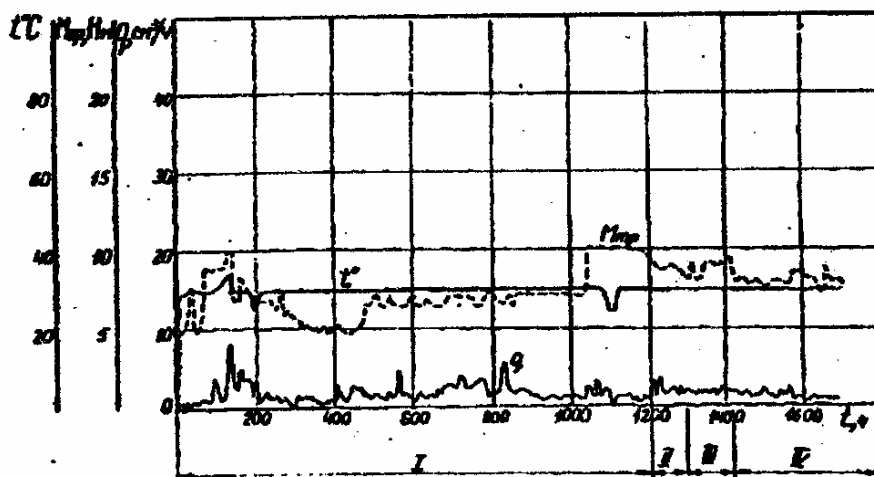


Рис. 3. Зависимости утечки масла, момента трения и средней температуры от времени испытания торцового уплотнения ($\Delta P=7$ МПа; $b=3,5...7$ мм; масло трансформаторное): I, IV - $n=280$ об/мин; II - $n=500$ об/мин; III - $n=700$ об/мин.

В двух других испытаниях с релитовой поверхностью шириной, равной 7 мм, было выполнено вращающееся кольцо. Из графика рис. 3 видно, что утечка

трансформаторного масла с превышением перепада давления (в течение 100 ч) и увеличением частоты вращения (в интервале 1200-1419 ч) незначительно увеличивается. Тогда как на момент трения и температуру это не оказывает существенного влияния.

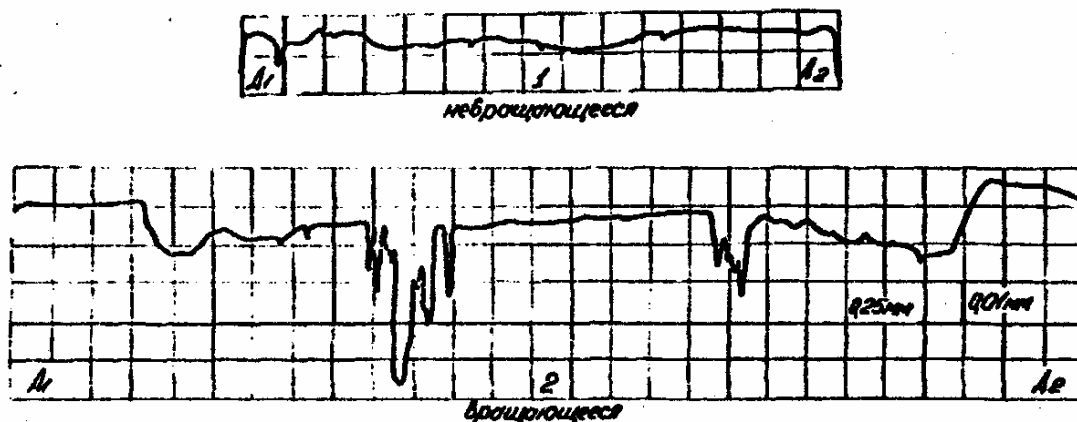


Рис. 4. Профилограммы уплотняющей поверхности релитовых торцовых уплотнений после испытания с трансформаторным маслом ($\Delta P=7$ МПа; $n=280$; 500; 700 об/мин; общее время работы 1700 ч): 1 – $b=3,5$ мм; 2 – $b=7$ мм.

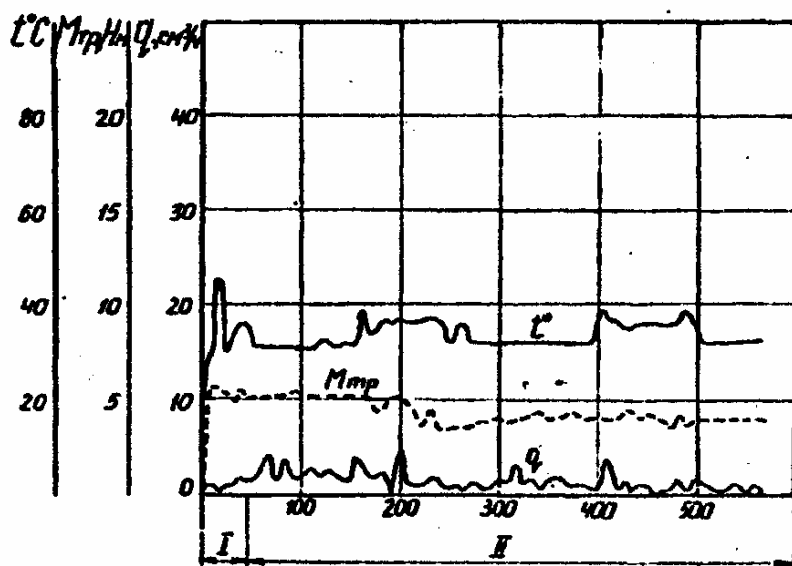


Рис. 5. Зависимости утечки масла, момента трения и средней температуры от времени испытания торцового уплотнения ($n=280$ об/мин, $b=3,5...7$ мм, масло трансформаторное; торцовое биение – 0,2 мм): I – $\Delta P=1...7$ МПа; II – $\Delta P=7$ МПа.

На рис. 4 приведены профилограммы рабочих поверхностей релитового торцового уплотнения после 1700 часов испытания. На широком вращающемся кольце посередине имеется участок изношенной поверхности, образованный в результате контакта с уплотняющей поверхностью шириной 3,5 мм. Профиль изношенных поверхностей колец с релитовой поверхностью

равен 7 мм в обоих испытаниях (рис. 2, рис. 4) характеризуется некоторой клиновидностью с незначительным увеличением глубины износа на участке, который соответствует наружному диаметру контактной уплотняющей поверхности шириной 3,5 мм. Это можно объяснить влиянием деформации трущихся колец торцового уплотнения, которая характеризуется поворотом сечения кольца при воздействии высокого давления снаружи. В результате стык пары трения на

внутреннем диаметре раскрывается, и контакт возникает только на наружном диаметре, что и вызывает наибольшую шероховатость и износ поверхности на этом участке.

Третье испытание было аналогично второму, но с заданным торцовым биением, равным 0,2 мм. Как видно из графика (рис. 5) и профилограммы (рис. 6), торцовое биение не оказало существенного влияния на контактируемые параметры, но на профилограмме релитовой поверхности шириной 7 мм отсутствует отмеченный ранее клиновидный износ.

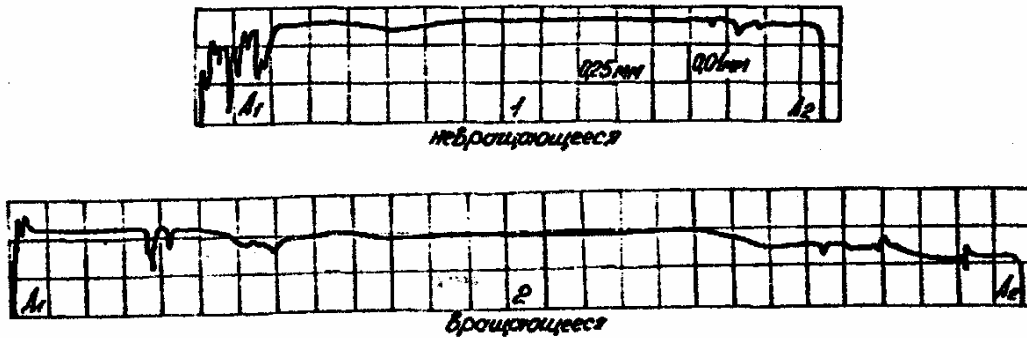


Рис. 6. Профилограммы уплотняющей поверхности релитовых торцовых уплотнений после испытания с трансформаторным маслом ($\Delta P=7$ МПа; $n=280$ об/мин; общее время работы 568 ч; торцовое биение $-0,2$ мм): 1- $b=3,5$ мм; 2- $b=7$ мм.

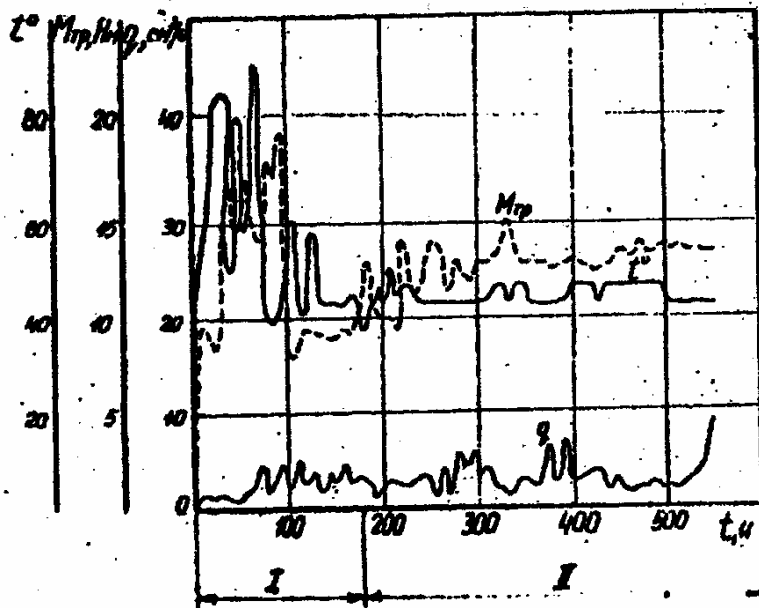


Рис. 3.15-7. Зависимости утечки масла, момента трения и средней температуры от времени испытания двух торцовых уплотнений ($n=280$ об/мин, $b=5$ мм, масло авиационное МС-20): I - $\Delta P=1...12$ МПа; II - $\Delta P=12$ МПа.

поверхности, равной 5 мм.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о высокой герметичности релитовых торцовых уплотнений с шириной уплотняющей поверхности 3,5 мм даже в худших условиях, а именно, при работе с трансформаторным маслом.

При проведении испытаний с перепадом давления $\Delta P=12$ МПа отработывались режимы работы редуктора с частотой вращения 280 об/мин и двигателя с 700 об/мин на авиационном масле МС-20 с шириной уплотняющей

Результаты первого испытания при частоте вращения 280 об/мин представлены на графике (рис. 7). При этом испытании в течение времени, соответствующем работе с повышением перепада давления через каждые 16 ч на 1 МПа до 12 МПа, наблюдалось скачкообразное повышение момента до 17 Нм и температуры до 90°C, после 180 ч испытания момент трения и температура стабилизировались. При визуальном осмотре торцовых уплотнений в конце испытания обнаружены контактные прижоги на уплотняющей поверхности верхнего уплотнения, что подтверждается профилограммами, приведенными на рис. 8 и рис. 9. Однако, большая шероховатость поверхности не повлияла на герметичность торцового уплотнения и в течение всего испытания наблюдалась сравнительно небольшая утечка $\approx 3-4 \text{ см}^3/\text{ч}$.



Рис. 8. Профилограммы уплотняющей поверхности релитовых торцовых уплотнений после испытания с маслом МС-20 ($\Delta P=12$ МПа; $n=280$ об/мин; $b=5$ мм; общее время работы 552 ч): 1 – неврещающее кольцо; 2 – вращающееся кольцо.

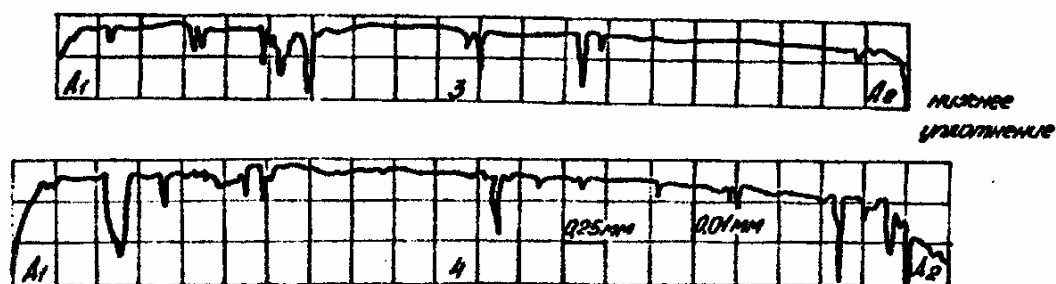


Рис. 3.17-9. Профилограммы уплотняющей поверхности релитовых торцовых уплотнений после испытания с маслом МС-20 ($\Delta P=12$ МПа; $n=280$ об/мин; $b=5$ мм; общее время работы 552 ч): 3 – неврещающее кольцо; 4 – вращающееся кольцо.

Второе испытание при аналогичных условиях было проведено с новыми торцовыми уплотнениями. Как видно из графика (рис. 10), в течение 176 ч ра-

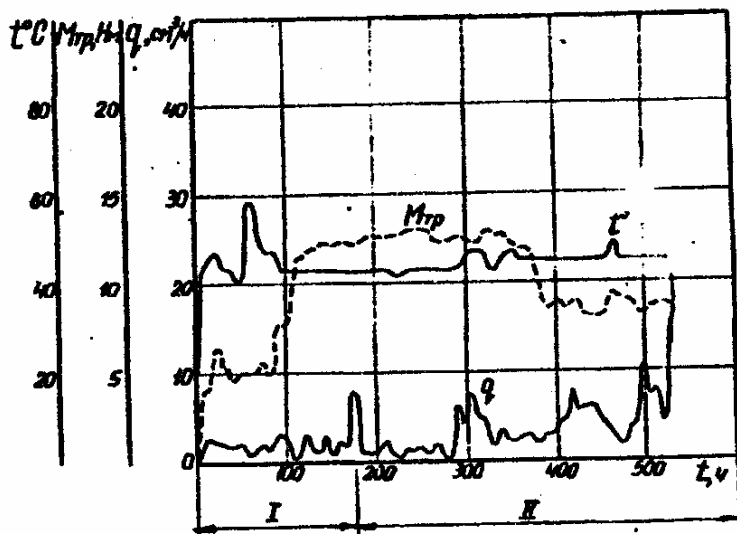


Рис. 10. Зависимости утечки масла, момента трения и средней температуры от времени испытания двух торцовых уплотнений ($n=280$ об/мин, $b=5$ мм, масло авиационное МС-20): I – $\Delta P=1\dots 12$ МПа; II – $\Delta P=12$ МПа.

боты с повышением перепада давления до 12 МПа утечка и температура масла не изменились, тогда как момент трения заметно повышался и, достигнув значения 12 Нм, оставался неизменным на протяжении 230 ч, затем снизился до ≈ 8 Нм и до конца испытания оставался неизменным. Утечка масла в течение 400 часов испытания была сравнительно невысокая ≈ 4 см³/ч, затем повысилась и при достижении величины утечки 20 см³/ч испытание было прекращено. На рис. 11 приведены профилограммы

рабочей поверхности этих уплотнений после 694 ч работы на стенде. Из профилограммы видно, что рабочие поверхности имеют кое-где вымывание медной связки, и это, по-видимому, вызвало повышение утечки в конце испытания.

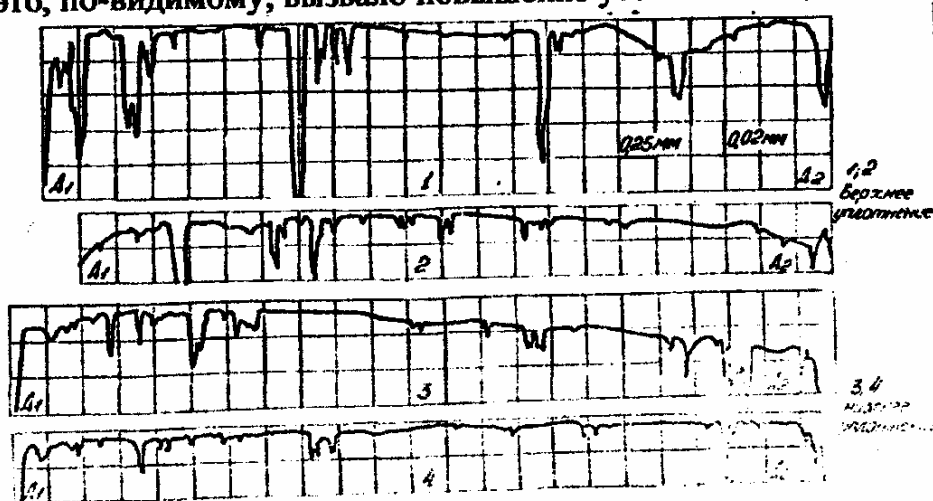


Рис. 11. Профилограммы уплотняющей поверхности релитовых торцовых уплотнений после испытания с маслом МС-20 ($\Delta P=12$ МПа; $n=280$ об/мин; $b=5$ мм; общее время работы 694 ч): 1, 4 – невращающееся кольцо; 2, 3 – вращающееся кольцо.

Затем было проведено исследование двух торцовых уплотнений с маслом МС-20 при $\Delta P=12$ МПа и частоте вращения 700 об/мин. На рис. 12 представлен график результатов испытания, из которого видно, что с повышением перепада давления повышались момент трения, утечка и температура масла. После дос-

тижения перепада давления 12 МПа утечка и температура масла на протяжении всего дальнейшего испытания оставались неизменными 10 см³/ч и 60°С соответственно, лишь незначительно повысилась в конце испытания. Момент трения в течение 800 ч был выше 20 Н·м, затем немного снизился и до конца испытания был повышен до 15 МПа и в течение 24 ч испытание продолжалось с этим перепадом, и как видно из графика (рис. 12) повышение перепада давления не повлияло на герметичность торцового уплотнения, тогда как момент трения и температура масла значительно повысились.

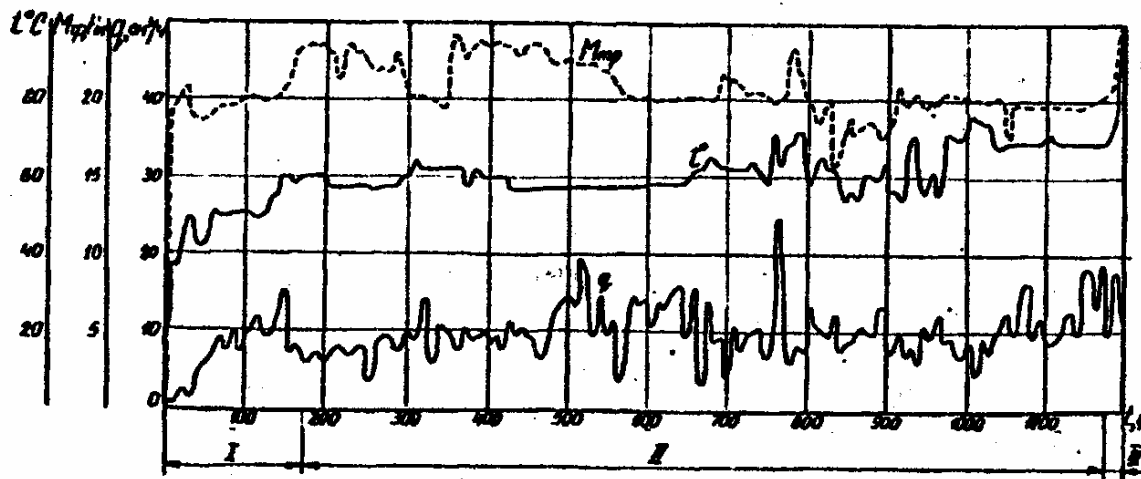


Рис. 12. Зависимости утечки масла, момента трения и средней температуры от времени испытания двух торцовых уплотнений ($n=700$ об/мин, $b=5$ мм, масло авиационное МС-20): I — $\Delta P=1...12$ МПа; II — $\Delta P=12$ МПа; III — 15 МПа.

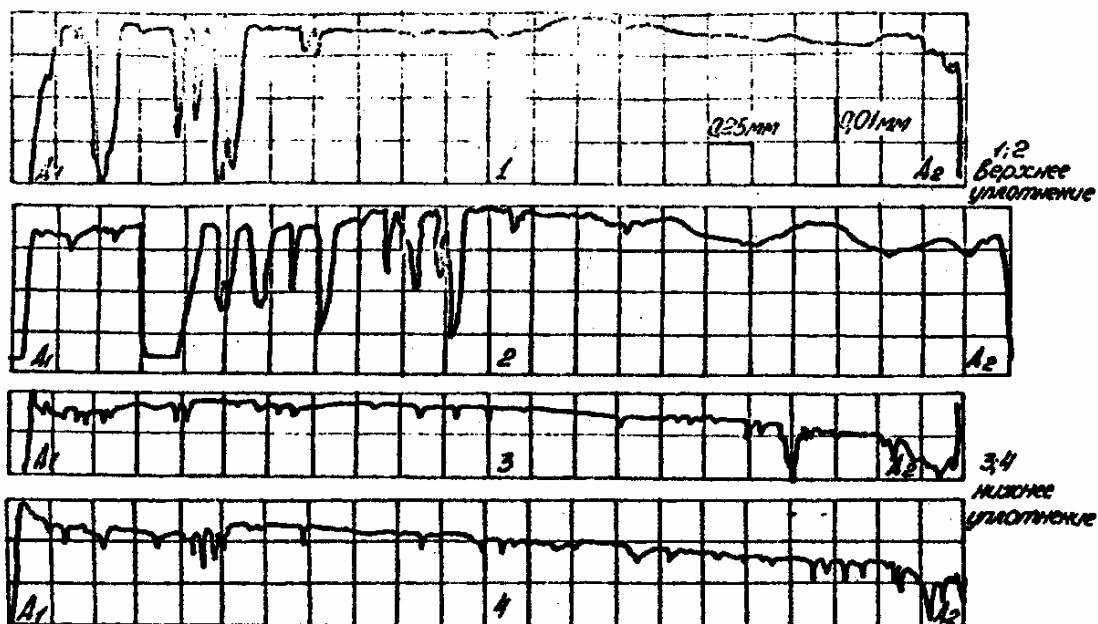


Рис. 13. Профилограммы уплотняющей поверхности релитовых торцовых уплотнений после испытания с маслом МС-20 ($\Delta P=12; 15$ МПа; $n=700$ об/мин; $b=5$ мм; общее время работы 1198 ч): 1, 4 — невращающееся кольцо; 2, 3 — вращающееся кольцо.

Из профилограммы (рис. 13) видно, что даже после столь длительного испытания имеются большие участки практически неизношенной поверхности, которые обеспечивают достаточно высокую герметичность торцового уплотнения. Характерно, что торцовое уплотнение после 1198 ч работы было в работоспособном состоянии, а испытание было прекращено лишь с целью ревизии торцового уплотнения.

Однако следует заметить, что при испытании двух торцовых уплотнений в одинаковых условиях, но с различной частотой вращения, контролируемые параметры тем выше, чем выше частота вращения, что видно из графиков (рис. 10 и рис. 12).

Проведенные экспериментальные исследования торцового уплотнения при высоких перепадах давления позволяют сделать следующие выводы:

1. Разработанное торцовое уплотнение нижнего конца вала электродвигателя (редуктора-вставки) надежно работает на стенде при перепаде давления до 12 МПа более 500 ч. В отдельных случаях продолжительность испытаний превысила 1000 ч, при этом утечка масла находилась в пределах 5-10 см³/ч, что вполне приемлемо для работы электробура.
2. Во всех случаях герметичность торцовых уплотнений при работе с маслом МС-20 значительно выше, чем при работе с трансформаторным маслом.
3. Почти во всех случаях при увеличении частоты вращения утечка масла несколько повышается, особенно при работе с маслом трансформаторным.
4. Характерным результатом выполненных исследований является высокая герметичность торцового уплотнения при ширине уплотняющей поверхности 3,5 мм, что, по-видимому, связано с уменьшением тепловыделений в этом случае. Предпочтительным является применение более узкой уплотняющей поверхности в нажимных релитовых кольцах.

Высокая герметичность торцовых уплотнений наблюдалась даже в тех случаях, когда часть уплотняющей поверхности была изношенной, а остальная часть, примерно половина ширины, была в хорошем состоянии. Это свидетельствует о том, что для надежной работы уплотнения при высоких перепадах достаточно иметь ширину уплотняющей поверхности 3,5 мм.

Список литературы: 1. *Ткаченко В.П.* Разработка промышленной технологии изготовления торцовых уплотнений для электробуровой техники. – Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ “ХПІ”. - 2002. - №9, т.11. – С. 91-96. 2. *Ткаченко В.П.* Высокоэффективная технология алмазно-абразивной обработки релитовых торцовых уплотнений. - Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве. Материалы 6-й Международной научно-технической конференции, 10-11 октября 2002 г. - Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2002. - С. 44-49. 3. *Плужник Ю.Ф., Лисовин А.Ф.* Износостойкие релитовые торцовые уплотнения погружного электрооборудования для бурения скважин и добычи нефти. - Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве. Материалы 5-й Международной научно-технической конференции, 28-29 мая 2002 г. - Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2002. - С. 747-748.

Поступила в редколлегию 01.06.05