**Отчет об испытаниях макетного образца привода**

Настоящий отчет составлен в том, что сотрудниками подразделения 595 проведены стендовые испытания макетного образца привода

Испытания проводились в период с 20 августа 2016 г. по 12 января 2017 г.

Цель испытаний: Получение количественных и качественных характеристик привода, отработка система охлаждения, отработка системы управления, подбор и испытание подшипников, подбор и испытание смазки редуктора, решение возникающих проблем непосредственно в ходе и после испытаний.

1. **Изменения в рубашке системы охлаждения и постановке на нее транзистора СУ.**

При испытаниях под нагрузкой от 20-29 августа 2016 г. через систему охлаждения двигателя и систему управления проливалась вода.

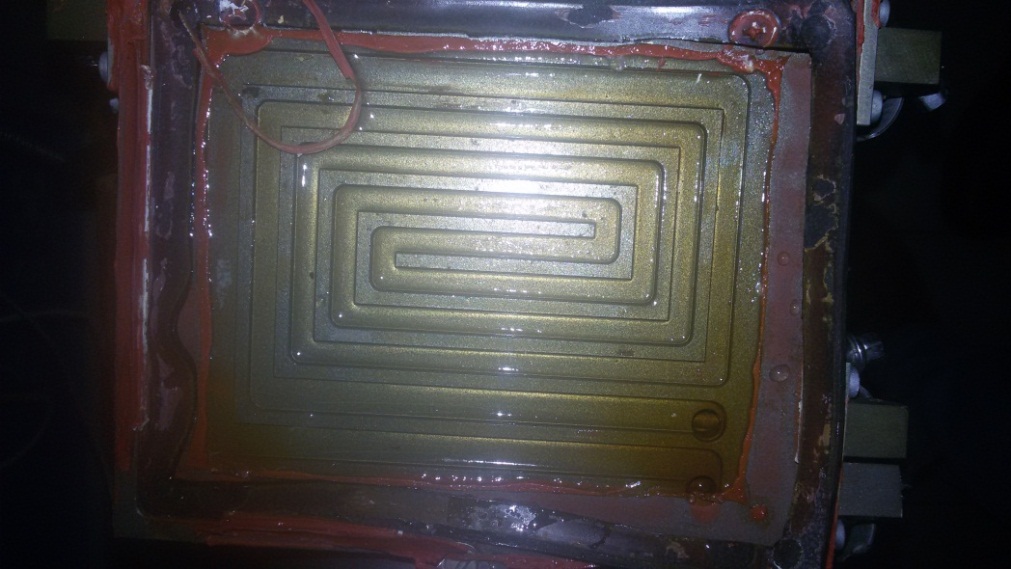


Рис.1 Место установки транзистора системы управления в 1-ом исполнении.

После нескольких пусков были выявлены протекания охлаждающей жидкости из под резиновой уплотнительной прокладки, что привело к попаданию воды в транзистор СУ.

Было принято решение:

1. Просушить транзистор в печи при в течении 24 часов.
2. Установить транзистор на штатное место без резиновой уплотнительной прокладки, с использованием герметика в качестве уплотнения(Рис. 3).

Для проверки течения жидкости через каналы было принято решение установить на штатное место системы управления приспособление, изготовленное из оргстекла. При проверке было выявлено прохождение охлаждающей жидкости поверх ребер каналов, что способствует возникновению ламинарного течения жидкости, что в свою очередь приводит к ухудшению теплоотвода от системы управления.



Рис.2 Приспособление из оргстекла, установленное на рубашку системы охлаждения.

В последующих пусках на ребра каналов был нанесен герметик, с целью направления потока жидкости по каналам и недопущения перетекания жидкости между каналами.

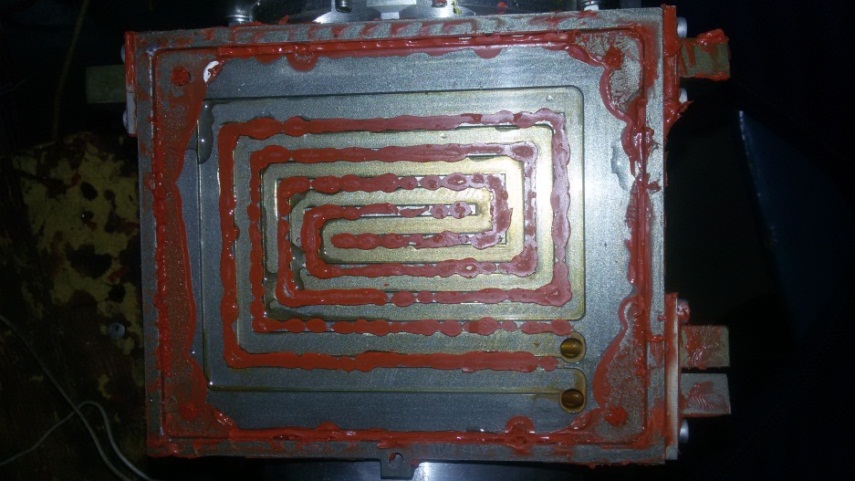


Рис.3 Установка без использования резиновой уплотнительной прокладки.

После установки СУ и просушки герметика(в течении 24 часов) при проверке рубашки охлаждения на воде были выявлены течи жидкости. Было принято решение вернуться к установке резиновой уплотнительной прокладки.

На Рис. 4 и Рис. 5 показан процесс нанесения герметика на ребра каналов.



Рис.4 Произведена очистка краёв платформы рубашки.

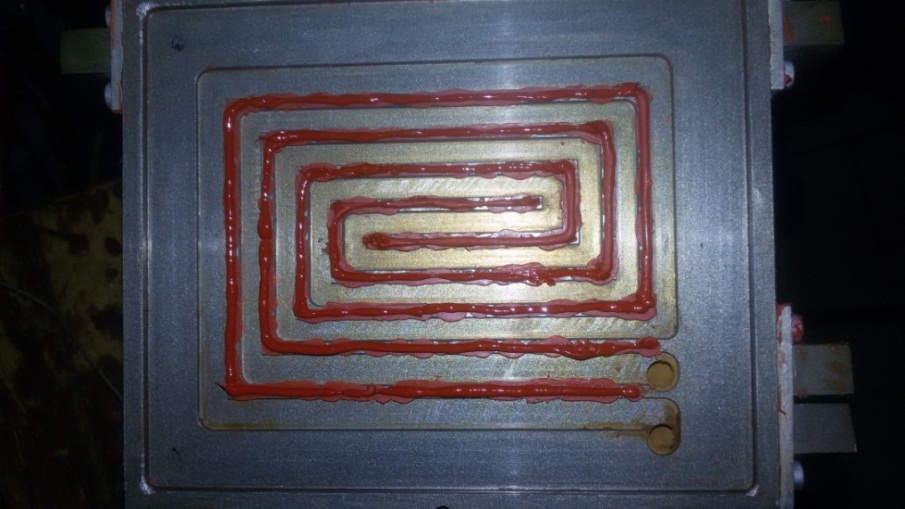


Рис.5 Заложение герметика для предотвращения течи между каналами.

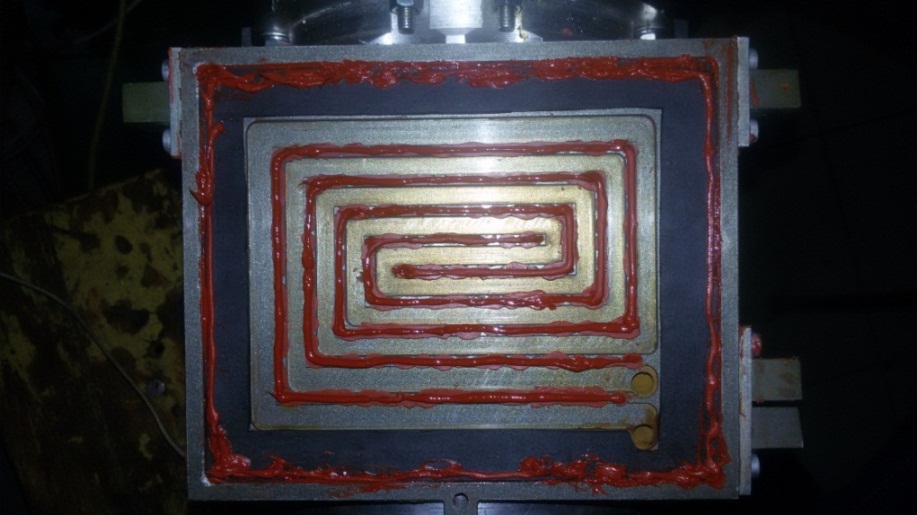


Рис.6 Установка резиновой прокладки с герметиком.

Впоследствии в качестве уплотнительной прокладки был использован паронит толщиной 2 мм. При проведении испытаний были выявлены незначительные течи.

К испытанию от 28 декабря 2016 г. была заменена рубашка системы охлаждения на переработанную новую. Система управления была установлена на термопасту и закреплена скобами. Общий объем охлаждающей жидкости стал равен ≈350 мл.

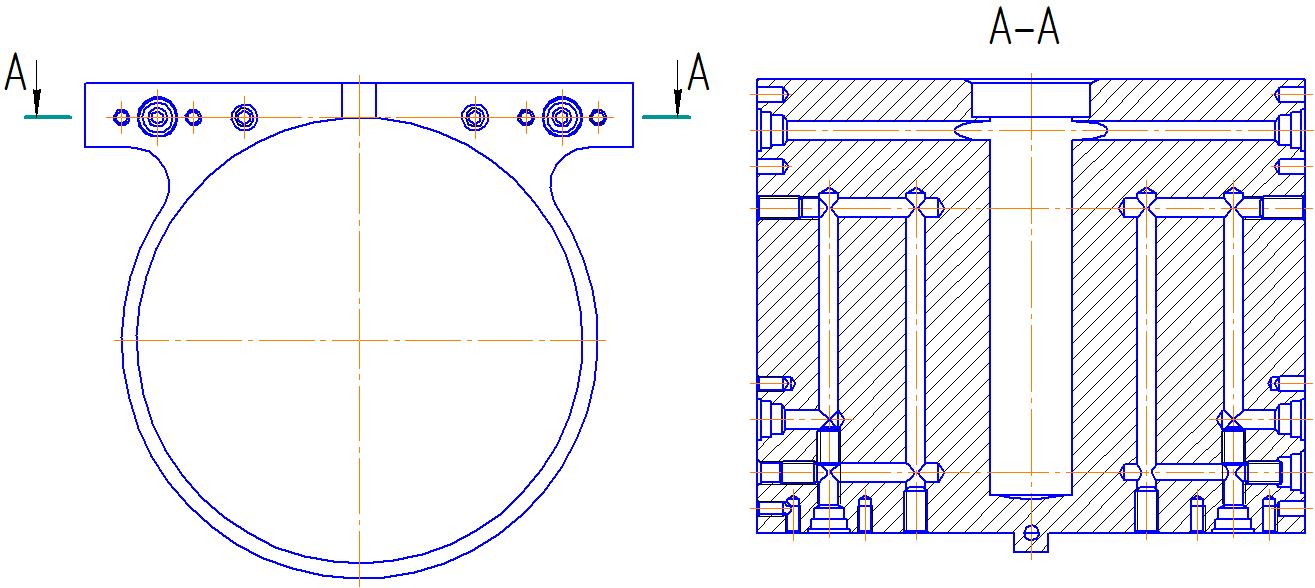


Рис.7 Переработанная рубашка системы охлаждения.

В дальнейшем целью испытаний являлась сравнение интенсивности нагрева лобовых частей статора двигателя при разных условиях. Сначала было решено изменить направление движения охлаждающей жидкости в системе охлаждения на обратное. А после отказаться от охлаждения системы управления и оставить только охлаждение двигателя. Также было проведено испытание с использованием в качестве охлаждения воду, прокачиваемую от магистрали.

Ниже представлены результаты сравнения интенсивности нагрева лобовых частей статора.

Рис.8 Интенсивность нагрева лобовых частей статора двигателя.

1. **Подбор смазочного материала редуктора привода.**

В испытаниях от 20-29 августа 2016 г. в редуктор была заложена смазка Литол-24. При разборе было выявлено, что смазка на зубьях редуктора отсутствует после однократных пусков, а также происходило вытекание расплавленной смазки через быстроходный подшипник, что в дальнейшем способствовало замене смазки. Литол-24 был заменен на высокотемпературную литиевую смазку МС Blue(1510) с характеристиками:

* Температура каплепадения: 350 °С;
* Рабочий температурный диапазон: от -40 °С до 180 °С;
* Класс вязкости - NLGI-2: Пенетрация 265-295 (10-1 мм)
* Состояние при комнатной температуре: мягкая
* Цвет смазки: синий.

NLGI – National Lubricating Grease Institute(USA), Американский национальный институт пластичных смазок.

Пенетрация – мера проникновения конусного тела в вязкую среду.

Впервые в работе редуктора MC Blue(1510) была использована в испытаниях от 27 октября 2016 г.

В результате испытаний от 18 ноября 2016 г., во время которых было проведено 4 запуска с небольшим интервалом между ними, произошел нагрев смазки до температуры ее каплепадения.

После разбора редуктора было замечено:

* изменение цвета смазки на черный;
* на шестерне и зубчатом колесе отсутствуют следы смазки;
* произошло изменение цвета шестерни и зубчатого колеса.

В последствии смазка заменялась(обновлялась) приблизительно раз в 5 пусков.

1. **Подбор подшипников редуктора.**

В конструкции редуктора привода использовались подшипники 609RS на быстроходной шестерне и 61805 2RS на тихоходном колесе. Изначально использовались подшипники производства Италия. Затем, после 21 пуска, к испытаниями от 16 ноября были заменены подшипники быстроходной шестерни на подшипники производства Китай. К испытанию от 28 декабря 2016 г. были заменены также и подшипники тихоходного колеса на подшипники производства Китай.

К испытанию от 16 ноября 2017 г. была произведена замена подшипников качения на быстроходной шестерне и тихоходном колесе.

К испытанию от 12 января 2017 г. были заменены быстроходные подшипники редуктора.



Рис.9 Подшипник быстроходной шестерни редуктора со следами нагрева и перепада температур.

На рис. 9 представлен подшипник качения, снятый с быстроходной шестерни. На внутренней обойме видно ярко выраженные следы от термических перегревов.

1. **Работа системы управления.**

До испытаний от 16 ноября 2017 г., при проведении пусков, система управления, в результате ее нагрева, отключалась, тем самым работа привода в режиме, заданном ТЗ, давала нестабильные результаты.

Работа над герметичностью каналов рубашки системы охлаждения позволила улучшить охлаждение системы управления и тем самым увеличить длительность работы привода в режиме, заданном ТЗ.

Испытания от 16 ноября 2017 г. показали нестабильность работы системы управления привода. Во время пусков привода были зарегистрированы скачки фазных токов, приводившие к нестабильной работе двигателя. Было принято решение вызвать разработчика системы.

В результате испытания от 18 ноября 2017 г. был введен экран на кабель датчика положения ротора и были введены изменения в программу системы управления. Следующие пуски сопровождались скачками фазных токов, которые наблюдались в большей степени в конце испытаний, когда происходило повышение температуры конденсаторов СУ и обмоток статора. Скачки приводили к изменению шума при работе привода.

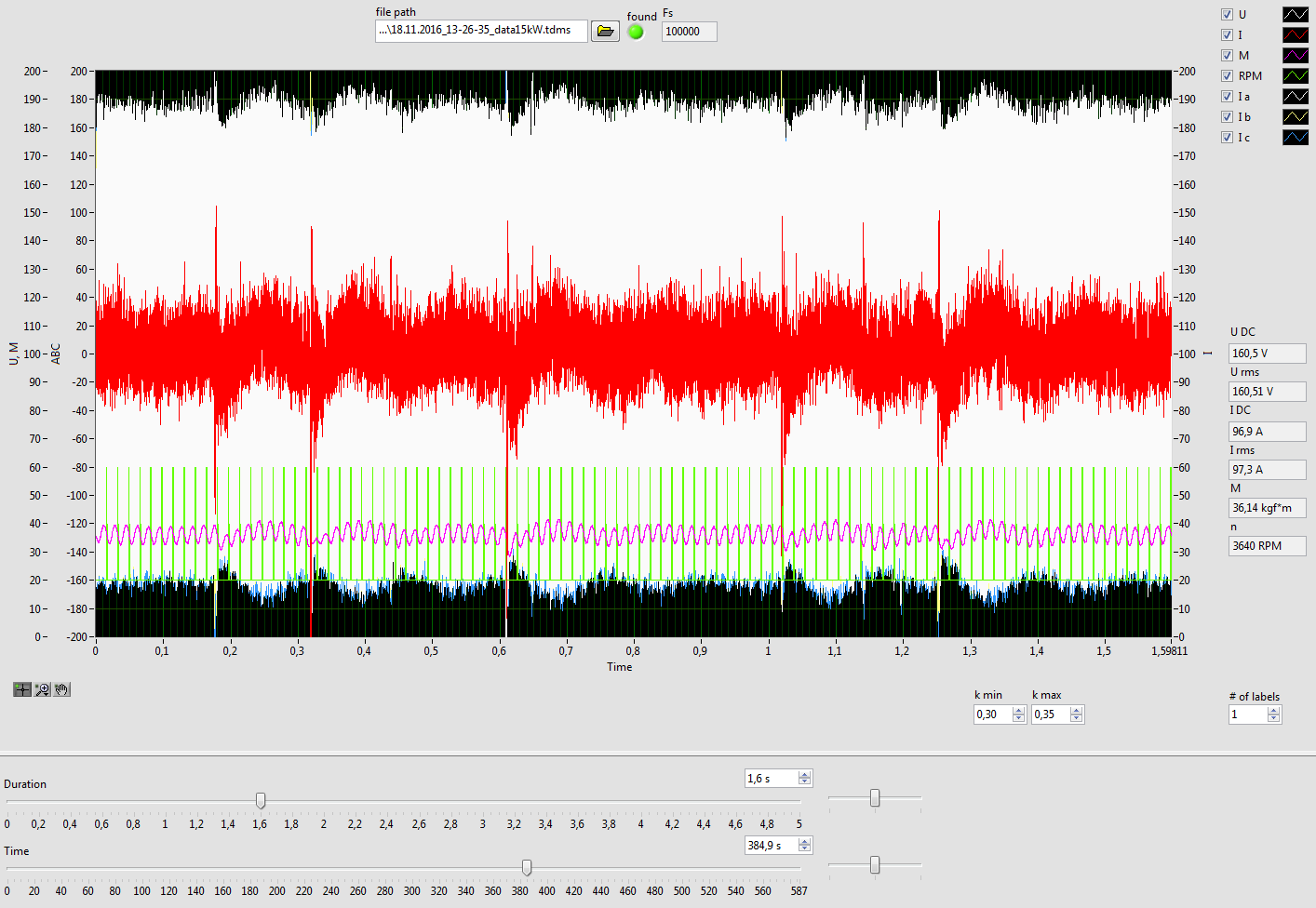


Рис. 10 Скачки фазных токов до установки экрана на кабель датчика положения ротора.

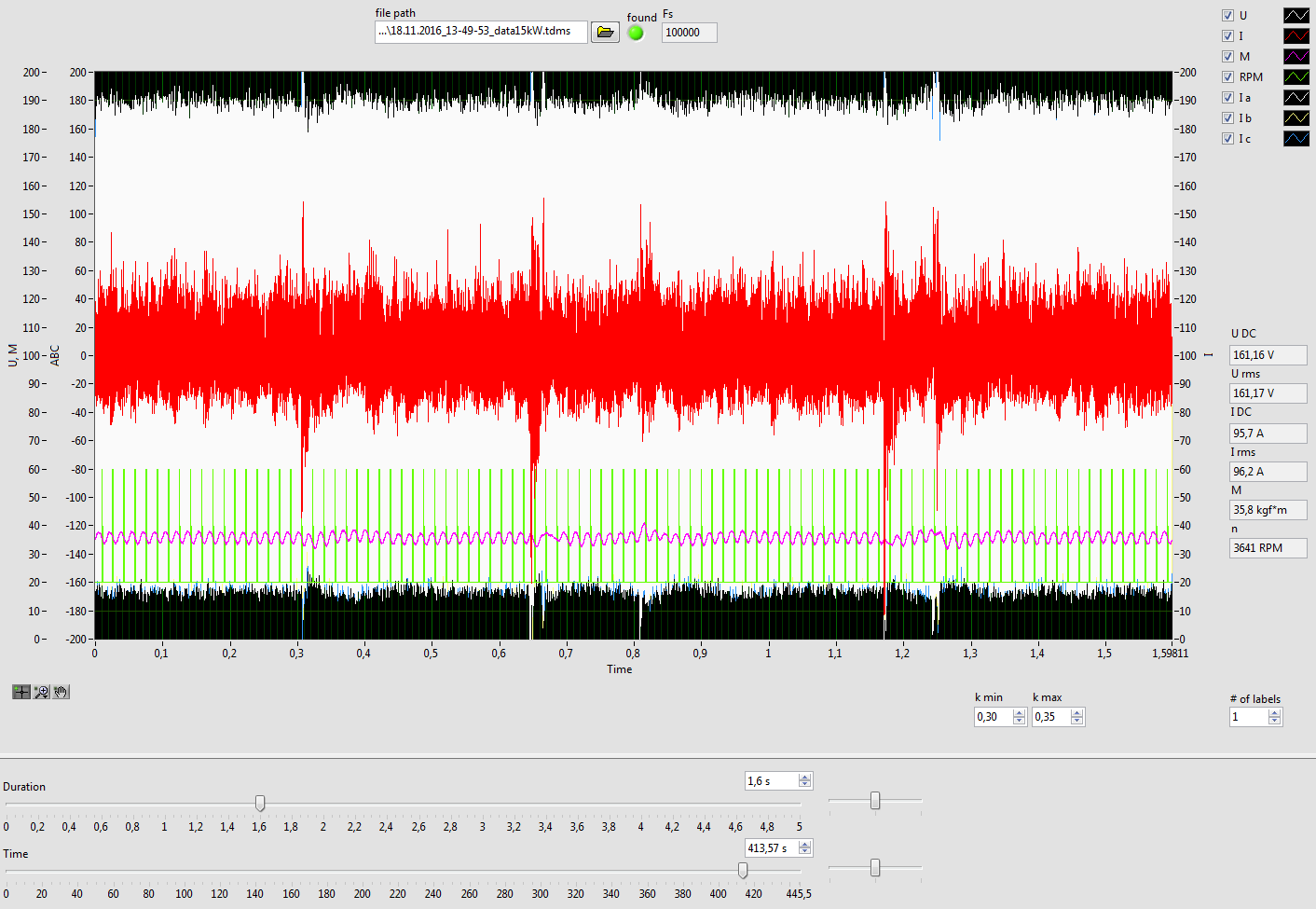


Рис. 11 Скачки фазных токов после установки экрана на кабель датчика положения ротора.

Регистрация скачков фазных токов при отсутствии экрана и при его наличии показана на Рис. 10 и Рис. 11. По субъективным наблюдениям был сделан вывод, что экран, установленный на кабель датчика положения ротора, уменьшил частоту скачков фазных токов, а также снизил их амплитуду.

Данный факт позволил проводить испытания с выходом на заданноев ТЗ время работы привода на основном режиме.

1. **Использование датчика момента.**

Ниже представлены графики зависимости момента от оборотов, полученные по результатам испытаний.

Рис.10 Графики зависимостей момента от оборотов.

В дальнейшем испытания проводились без использования датчика момента. Вместо него был установлен соединительный вал.

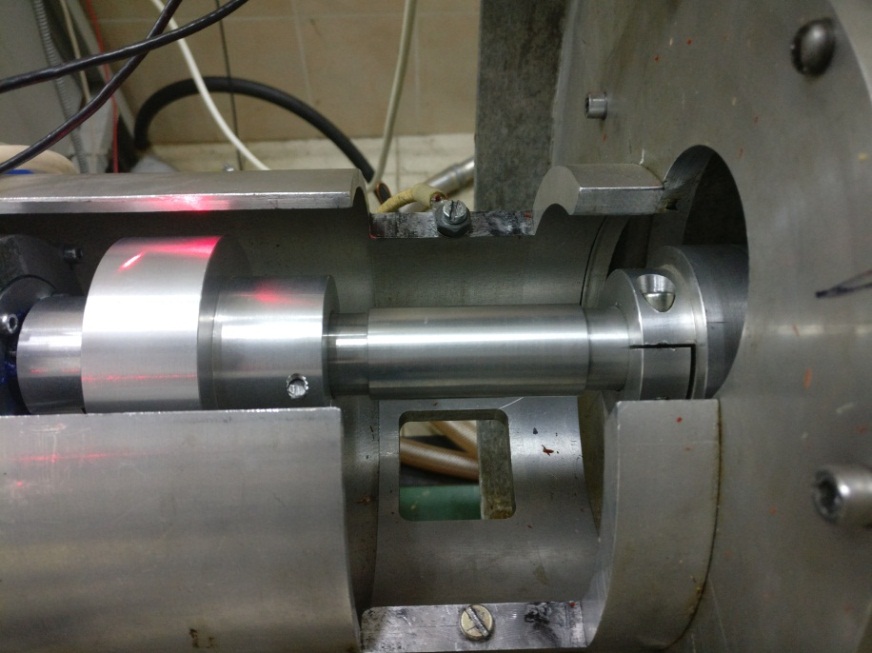


Рис.11 Соединительный вал, установленный вместо датчика момента.

1. **Заметки по ОЖ, собираемым контурам охлаждения и др.**

Первые испытания от 26 августа 2017 г. до испытаний от 27 октября 2016г. в качестве охлаждающей жидкости использовалась проточная вода, прокачивая из магистрали.

Затем к испытанию от 27 октября 2017 г. был собран замкнутый контур охлаждения, представляющий собой последовательно соединенные рубашки системы управления и двигателя. Охлаждающая жидкость – вода, прокачиваемая насосом Walbro 255.

К испытанию от 21 ноября 2017 г. был собран замкнутый контур охлаждения, представляющий собой последовательно соединенные систему управления и двигатель. Охлаждающая жидкость – вода, прокачиваемая насосом Walbro 255. Расход охлаждающей жидкости 30 мл/с. Объем ОЖ ≈600 мл.

К испытанию от 24 ноября 2016 г. был собран замкнутый контур охлаждения с ОЖ «Лена», прокачиваемой восстановленным насосом Walbro 255. Расход охлаждающей жидкости 30 мл/с. Объем охлаждающей жидкости ≈600 мл.

После пуска было замечено, что соскочил шланг системы охлаждения в месте крепления хомутом к рубашке охлаждения. Предположительно по двум причинам:

1. был плохо закреплен шланг хомутом;
2. произошло температурное расширение охлаждающей жидкости и в системе повысилось давление.

В связи с этим было принято решение установить гофры в систему охлаждения для компенсации температурного расширения ОЖ и повышения давления. Решено ввести в систему охлаждения датчик давления. Также решено уменьшить объем охлаждающей жидкости за счет исключения из контура одной спирали для отработки объема ОЖ.

29 декабря 2016 г. было проведено испытание, показавшее эффективность работы системы охлаждения, представляющую собой замкнутый контур охлаждения с последовательно соединенными системой управления и двигателем.

12 января 2017 г. После удачных опытов с использованием гофры для компенсации температурного расширения, было решено провести опыт без использования гофры.

В результате был произведен пуск длительностью 7 минут 15 секунд. При заданном значении частоты вращения двигателя 20200 об/мин, на выходном валу частота вращения составляет 3310 об/мин. Расчетная мощность составила 14,2 кВт. Расход охлаждающей жидкости составлял ≈30 мл/с. Максимальная Δt ОЖ(воды) составила 9,7 °С. Объем охлаждающей жидкости составлял ≈330 мл.

Отключение произошло, предположительно, вследствие нагрева системы управления.

1. **Работа насоса системы охлаждения.**

В качестве насоса системы охлаждения был использован топливный насос Walbro 255.

После ряда испытаний насос перестал качать охлаждающую жидкость.

При разборе насоса было выявлено, что использование в качестве охлаждающей жидкости воды приводило к коррозии внутренние отсеки насоса. Это, в свою очередь, приводило к загрязнению сетки фильтра, установленного в насосе, и насос выходил из строя.

Очищение сетки фильтра насоса, использование уплотнительной резиновой прокладки, а также разработанной системы закрепления привело насос в исправное состояние.



Рис.12 Насос Walbro 255 в исправном состоянии.

1. **Использование втулочно-пальцевой муфты.**

В результате испытания от 27 октября 2016 г. выявлен проворот шлицевой втулки в месте крепления к муфте. Было принято решение изготовить новую муфту.

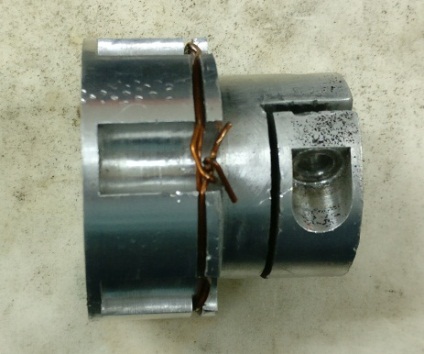


Рис.13 Использованные части муфты с признаками износа.

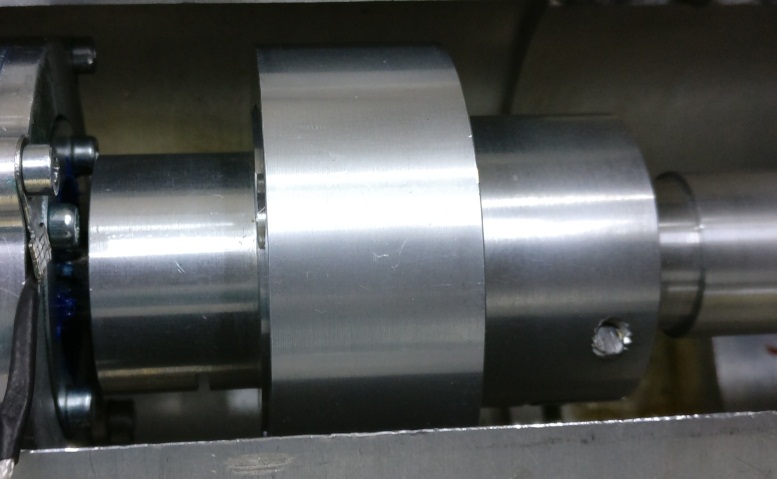


Рис.14 Новые муфты

1. **Зависимость получаемых результатов от изменения диаметра диска гидроторомза.**

В период с 07.04.17 по 27.04.17 были проведены испытания макетного образца привода 2638.050.000. с использованием разных диаметров диска гидротормоза(бочки).

07.04.17 были проведены испытания с диаметром диска .

Результаты пусков представлены на Рис.15, Рис. 16 и в Таб. 1, Таб. 2.

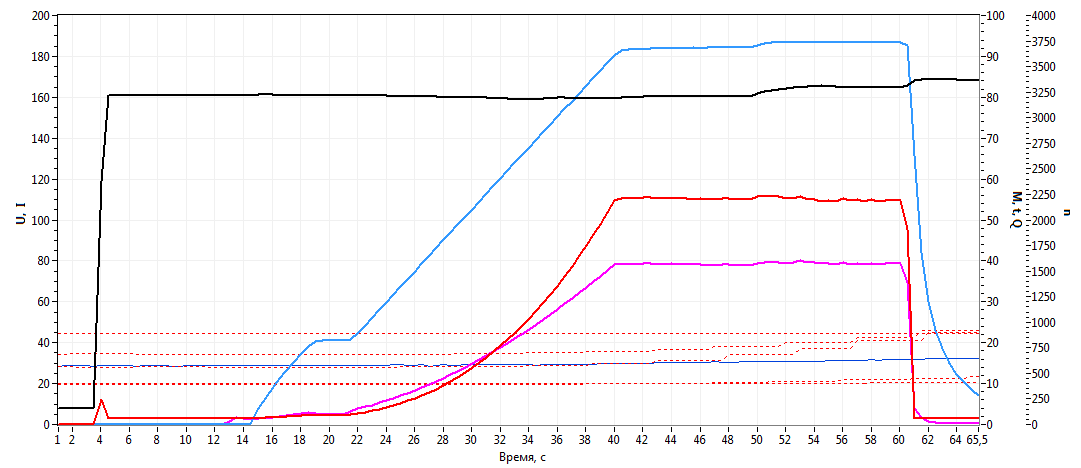


Рис. 15 Результаты первого пуска с диаметром диска гидротормоза .

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| time | U | I | n | M | Р | КПД |
| 59,0 | 164,8 | 109,2 | 3740 | 39,2 | 15,3 | 0,847 |
| 57,5 | 164,8 | 110,1 | 3738 | 39,4 | 15,3 | 0,848 |

Таблица 1

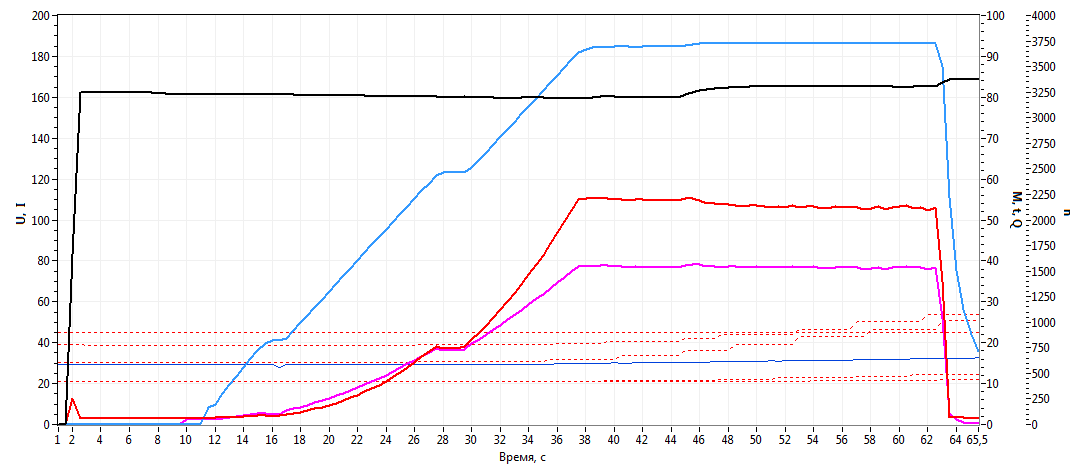


Рис. 16 График результатов второго пуска с диаметром диска гидротормоза .

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| time | U | I | n | M | Р | КПД |
| 60,5 | 165,1 | 105,8 | 3723 | 38,3 | 14,8 | 0,849 |
| 58,0 | 165,2 | 105,2 | 3723 | 38,0 | 14,8 | 0,848 |

Таблица 2

После(к 11.04.17) было принято решение уменьшить диаметр диска до 276 мм и провести испытания, результаты которых представлены на Рис. 17, Рис. 18 и в Таб. 3, Таб. 4.

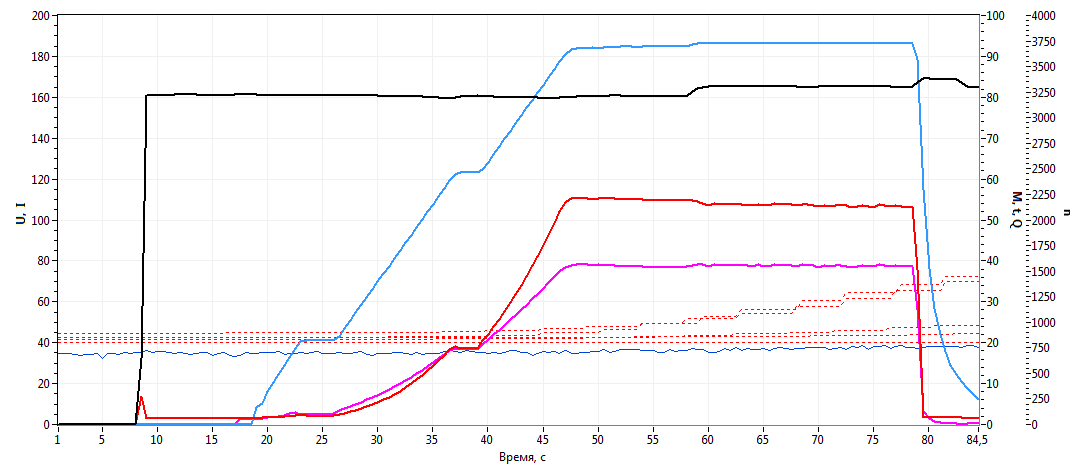


Рис. 17 График результатов второго пуска с диаметром диска гидротормоза .

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| time | U | I | n | M | Р | КПД |
| 73,5 | 165,1 | 106,2 | 3723 | 38,5 | 15 | 0,851 |
| 78,0 | 165,0 | 106,6 | 3723 | 38,7 | 15 | 0,852 |

Таблица 3

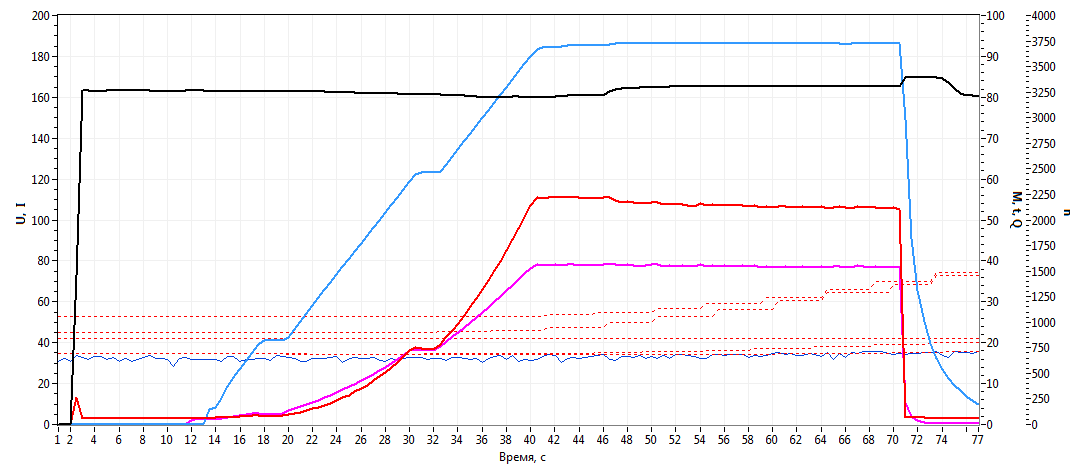


Рис. 18 График результатов второго пуска с диаметром диска гидротормоза .

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| time | U | I | n | M | Р | КПД |
| 64,5 | 165,3 | 106,5 | 3723 | 38,7 | 14,9 | 0,851 |
| 68,5 | 165,4 | 106,0 | 3723 | 38,5 | 14,9 | 0,852 |

Таблица 4

В дальнейшем(к 19.04.17) было принято решение провести испытания без диска, с использованием пластиковой прокладки, изготовленной с помощью 3D принтера.

Результаты пусков представлены ниже на Рис. 19, Рис. 20 и в Таб. 5, Таб. 6.

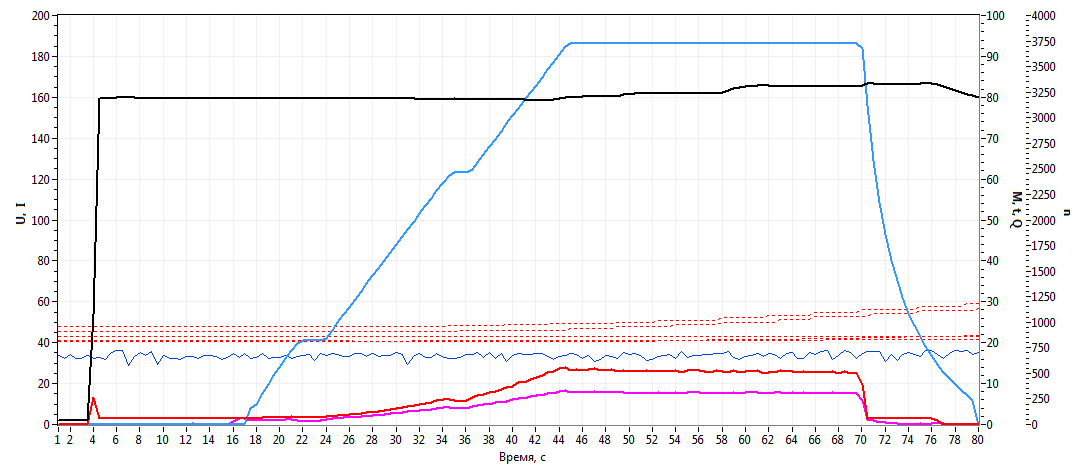


Рис. 19 График результатов первого пуска с пластиковой прокладкой.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| time | U | I | n | M | Р | КПД |
| 69,5 | 165,4 | 25,0 | 3724 | 7,7 | 3 | 0,722 |

Таблица 5

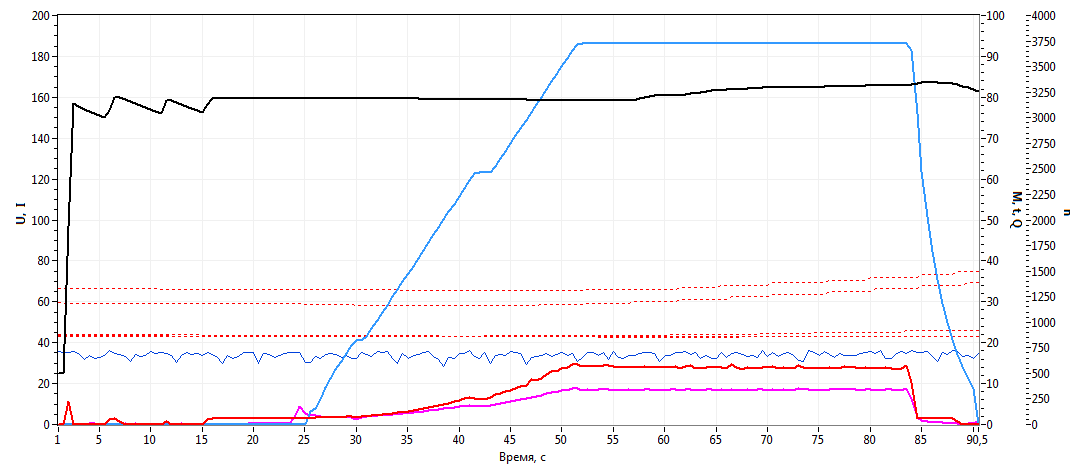


Рис. 20 График результатов второго пуска с пластиковой прокладкой.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| time | U | I | n | M | Р | КПД |
| 79,0 | 165,5 | 27,8 | 3725 | 8,5 | 3,3 | 0,738 |

Таблица 6

После данных испытаний(к 27.04.17) было принято решение уменьшить диаметр диска гидротормоза(бочки) до . Было проведено 6 пусков с разным поджатием манжеты. Результаты пусков представлены далее.

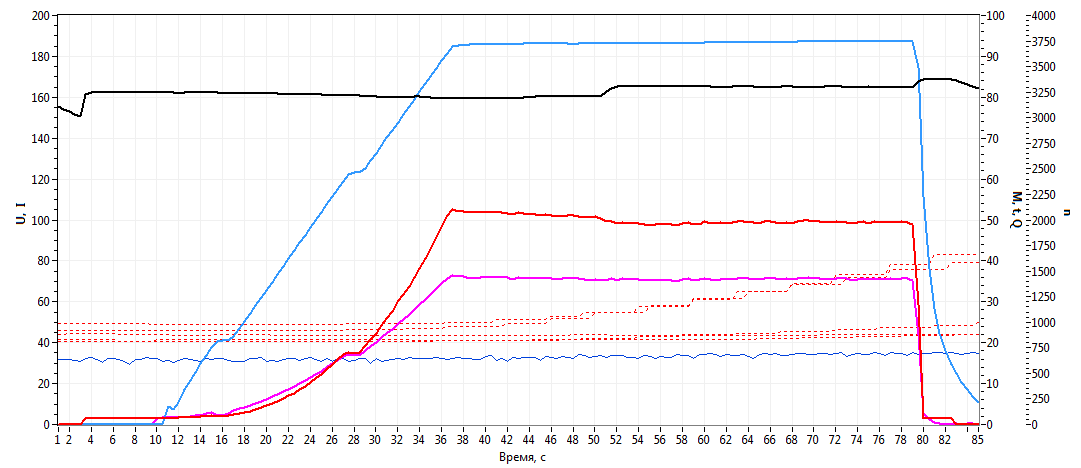


Рис. 21 График результатов 1-ого пуска с диаметром диска без поджатия манжеты. Температура воды 18 oC.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| time | U | I | n | M | Q | КПД | Р |
| 71,0 | 165,1 | 98,8 | 3748 | 35,5 | 34,4 | 0,847 | 13,9 |
| 77,5 | 165,0 | 99,2 | 3748 | 35,7 | 34,6 | 0,849 | 13,8 |

Таблица 7

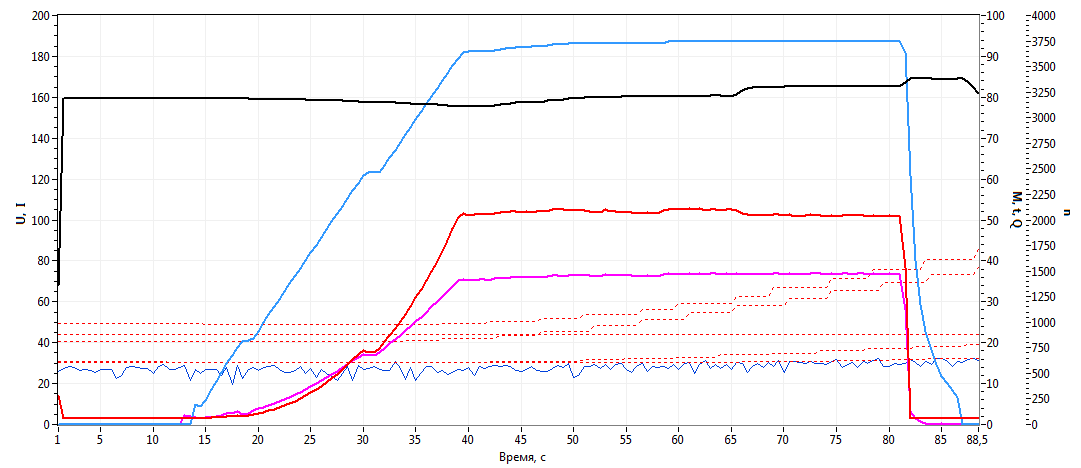


Рис.22 График результатов 2-ого пуска с диаметром диска с поджатием манжеты 0,25. Температура воды 3-4 oC.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| time | U | I | n | M | Q | КПД | P |
| 72,5 | 165,1 | 102,3 | 3748 | 36,8 | 30,0 | 0,852 | 14,4 |
| 78,0 | 165,2 | 102,2 | 3748 | 36,8 | 30,8 | 0,848 | 14,4 |

Таблица 8

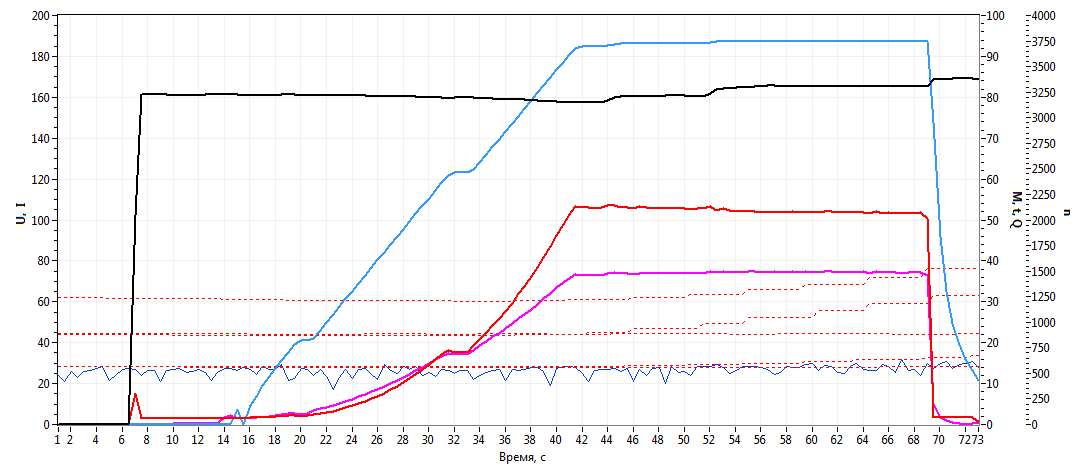
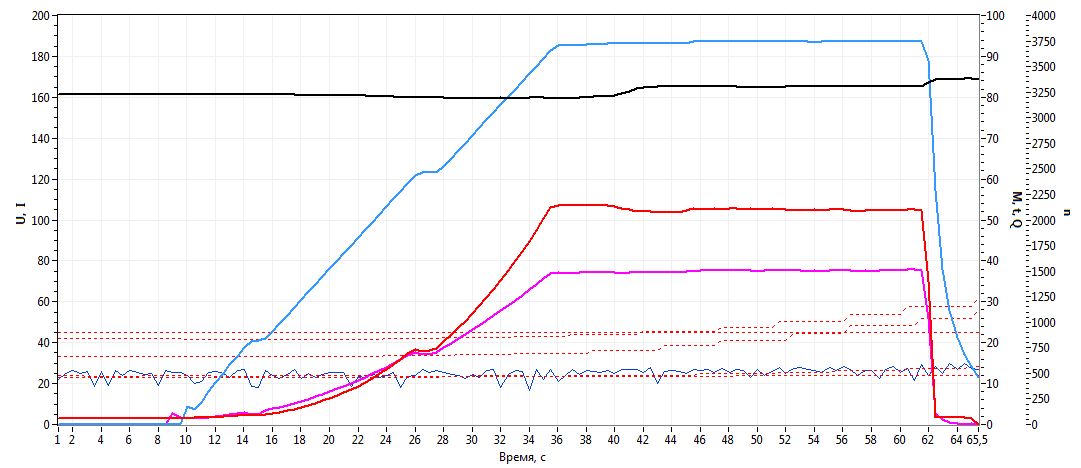


Рис.23 График результатов 3-ого пуска с диаметром диска с поджатием манжеты 0,25. Температура воды 3-4 oC.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| time | U | I | n | M | Q | КПД | P |
| 67,0 | 165,2 | 103,4 | 3748 | 37,1 | 25,6 | 0,851 | 14,5 |
| 68,0 | 165,3 | 103,5 | 3748 | 37,2 | 24,2 | 0,848 | 14,5 |

Таблица 9

  
Рис. 24 График результатов 4-ого пуска с диаметром диска с поджатием манжеты 0,3. Температура воды 3-4 oC.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| time | U | I | n | M | Q | КПД | P |
| 58,5 | 165,2 | 104,8 | 3748 | 37,7 | 26,9 | 0,850 | 14,7 |
| 61,0 | 165,3 | 105,2 | 3748 | 37,8 | 27,6 | 0,851 | 14,7 |

Таблица 10

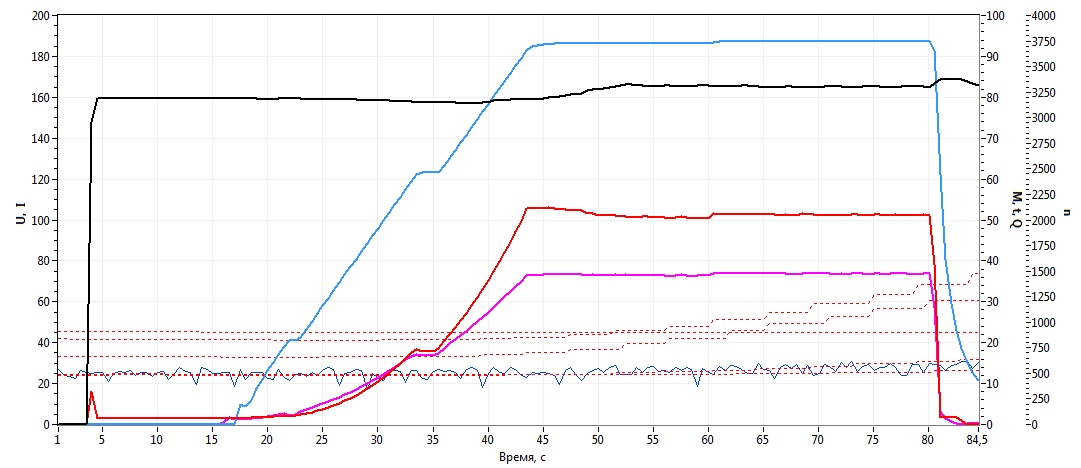


Рис. 25 График результатов 5-ого пуска с диаметром диска без поджатия манжеты. Температура воды 3-4 oC.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| time | U | I | n | M | Q | КПД | P |
| 74,5 | 165,1 | 102,3 | 3748 | 36,8 | 28,5 | 0,851 | 14,4 |
| 78,0 | 165,2 | 102,1 | 3748 | 36,7 | 29,3 | 0,849 | 14,3 |

Таблица 11

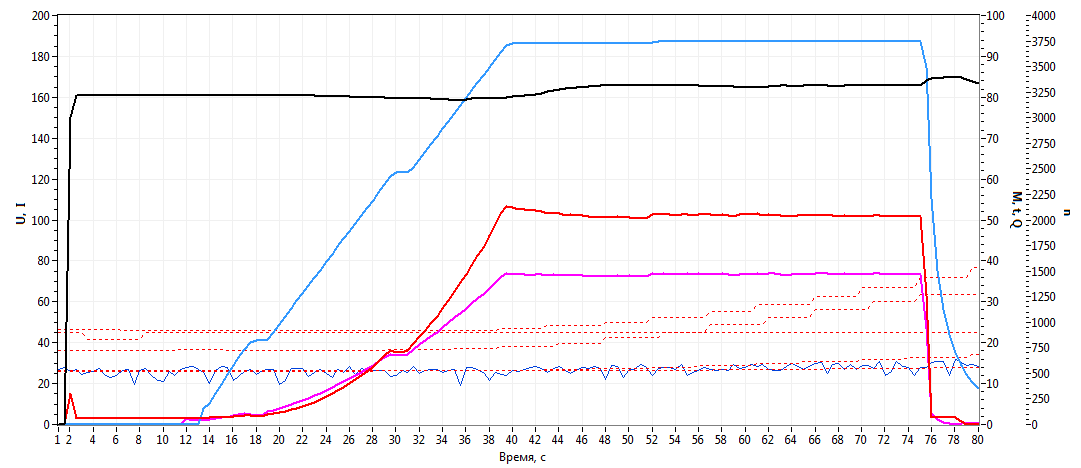


Рис. 26 График результатов 6-ого пуска с диаметром диска без поджатия манжеты. Температура воды 3-4 oC.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| time | U | I | n | M | Q | КПД | P |
| 62,0 | 165,0 | 102,4 | 3748 | 36,7 | 29,1 | 0,848 | 14,4 |
| 61,5 | 165,3 | 102,5 | 3748 | 36,8 | 26,7 | 0,849 | 14,4 |

Таблица 12.