**Отчет по испытаниям опытного и макетного образца привода ЕРЦИ.2638.050.000 в период с 15.08.2017 по 21.09.2017.**

В период с 15.09.2017 по 19.09.2017 были проведены лабораторно-стендовые испытания опытного образца привода

Основной целью испытаний была отработка технологической системы управления приводом, а также проверка работы привода в режиме, согласно паспорту.

В первом испытании от 15.09.2017 был проведен пуск длительностью 8 минут. Результаты представлены ниже.

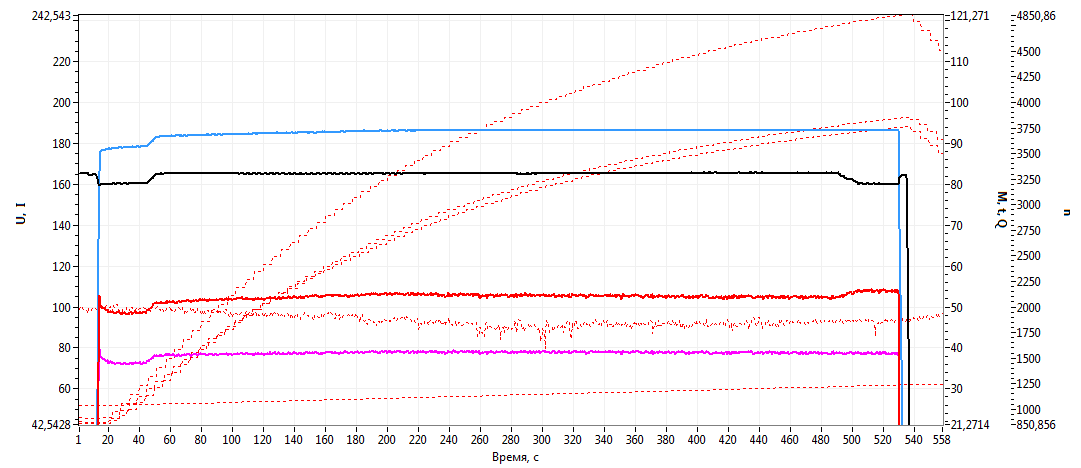


Рис.1 График первого пуска опытного образца привода.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| time | U | I | n | M | t W | t 1 | t 2 | t 3 | Q | t in | t out |
| 61,5 | 165,3 | 102,5 | 3672 | 38,3 | 26,3 | 34,0 | 33,6 | 37,4 | 49,2 | 18,7 | 21,9 |
| 119,0 | 165,0 | 103,7 | 3696 | 38,5 | 26,9 | 50,8 | 50,9 | 58,6 | 48,0 | 21,7 | 26,5 |
| 179,5 | 165,1 | 106,0 | 3714 | 39,0 | 27,5 | 63,4 | 62,4 | 76,8 | 47,4 | 29,6 | 46,6 |
| 238,5 | 165,2 | 105,8 | 3723 | 38,9 | 28,1 | 73,8 | 71,5 | 89,3 | 46,6 | 25,1 | 31,7 |
| 299,5 | 165,1 | 106,1 | 3723 | 39,1 | 28,6 | 80,6 | 79,1 | 99,9 | 44,0 | 26,1 | 33,5 |
| 340,0 | 165,2 | 105,7 | 3723 | 39,0 | 29,0 | 84,3 | 82,8 | 105,2 | 45,8 | 26,6 | 34,2 |
| 380,0 | 165,4 | 105,5 | 3723 | 39,0 | 29,4 | 87,6 | 85,9 | 109,8 | 45,9 | 27,1 | 34,9 |
| 420,0 | 165,3 | 105,7 | 3723 | 39,0 | 29,8 | 90,3 | 88,5 | 113,6 | 45,4 | 27,4 | 35,4 |
| 460,0 | 165,5 | 104,5 | 3723 | 38,7 | 30,2 | 92,7 | 90,8 | 116,9 | 46,1 | 27,6 | 35,7 |
| 529,5 | 160,0 | 108,4 | 3723 | 38,8 | 30,9 | 96,0 | 93,9 | 121,3 | 46,5 | 28 | 36,3 |

Таблица 1. Результаты первого пуска опытного образца привода.

В следующих испытаниях от 18.09.2017 было решено проверить зависимость эффективности охлаждения привода и его системы управления от направления движения охлаждающей жидкости(ОЖ Лена). Для этого были проведены 2 пуска. В первом пуске направление движения охлаждающей жидкости представляло собой схему «система управления – рубашка охлаждения двигателя». Результаты пуска представлены ниже.

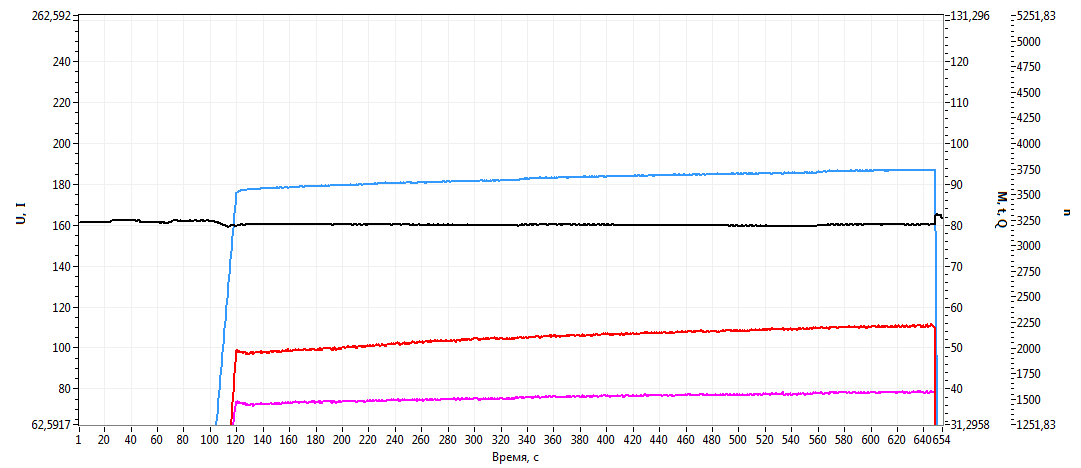


Рис.2 График пуска со схемой охлаждения «система управления – рубашка охлаждения двигателя».

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| time | U | I | n | M | t W | t 1 | t 2 | t 3 | Q | КПД | t in | t out |
| 132,5 | 160,3 | 97,6 | 3551 | 36,2 | 18,6 | 46,4 | 46,6 | 54,9 | 33,1 | 0,850 | 24 | 28,1 |
| 311,0 | 160,0 | 104,6 | 3635 | 37,5 | 20,3 | 80,3 | 79,0 | 95,6 | 36,2 | 0,848 | 32,3 | 41,5 |
| 452,0 | 159,8 | 107,8 | 3686 | 38,5 | 21,7 | 99,0 | 97,1 | 118,7 | 36,4 | 0,859 | 37,3 | 48,2 |
| 637,0 | 160,4 | 110,2 | 3739 | 39,0 | 23,5 | 115,2 | 113,5 | 140,0 | 36,1 | 0,857 | 40 | 53,2 |

Таблица 2. Результат пуска при охлаждении по схеме «система управления – рубашка охлаждения двигателя».

Во втором пуске использовалась обратная схема охлаждения – «рубашка охлаждения двигателя – система управления». Результаты представлены ниже.

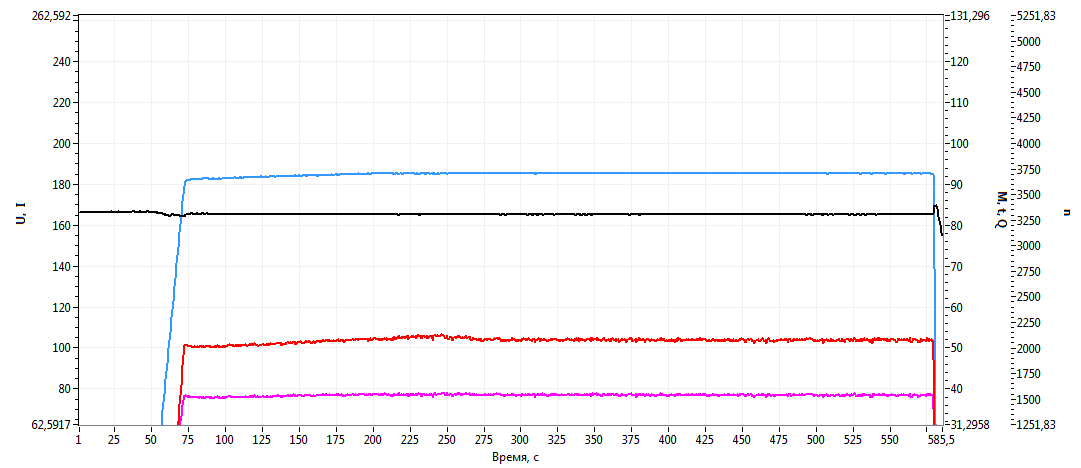


Рис.3 График пуска со схемой охлаждения «рубашка охлаждения двигателя – система управления».

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| time | U | I | n | M | t W | t 1 | t 2 | t 3 | Q | КПД | t in | t out |
| 81,0 | 165,5 | 100,3 | 3651 | 37,8 | 23,6 | 20,9 | 22,6 | 23,4 | 17,0 | 0,865 | 16,4 | 17,7 |
| 230,5 | 165,2 | 105,6 | 3703 | 38,6 | 25,0 | 66,7 | 66,7 | 79,1 | 23,0 | 0,854 | 27,1 | 38,2 |
| 406,0 | 165,4 | 104,1 | 3702 | 38,6 | 26,7 | 96,4 | 95,3 | 115,6 | 24,6 | 0,864 | 36,1 | 51 |
| 562,5 | 165,2 | 103,3 | 3702 | 38,2 | 28,2 | 111,5 | 110,6 | 135,5 | 24,9 | 0,863 | 39,7 | 56,6 |

Таблица 3. Результат пуска при охлаждении по схеме «рубашка охлаждения двигателя – система управления».

Согласно результатам можно сделать вывод, что изменение направления потока охлаждающей жидкости и ее расход существенно не влияет на длительность работы привода на режиме.

Совместно с проверкой эффективности охлаждения привода было также принято решение проверить систему управления посредством замены нового датчика положения ротора на старый, применяемый в макетном образе данного привода. Для проверки влияния ДПР на работу системы управления и двигателя было проведено 2 пуска.

В первом пуске система включала в себя старый ДПР. В результате длительность пуска составила 5 минут 48 сек. В течение работы привода происходили ошибки системы управления, приводящие к колебаниям значений фазных токов. Был сделан вывод, что ДПР не справляется со своей функцией в связи с наличием потертостей на дне датчика.

После замены датчика положения ротора на новый был проведен пуск длительностью 60 сек. Остановка привода осуществлена в связи с резким изменением шума.

Было решено провести разборку редуктора и определить причину изменения шума. После разбора редуктора было определено, что разрушился подшипник быстроходного вала вследствие сильного нагрева за счет трения о крышку, подпирающую подшипник. Для исключения повторения ситуации в центре крышки проделали отверстие для ликвидации соприкосновения вала к крышке при его температурном удлинении во время работы.

И в испытаниях от 19.09.2017 был проведен пуск длительностью 9 минут, в котором прекратились ошибки, приводящие к импульсным колебаниям фазных токов. Также прошла проверку доработанная подпирающая подшипник крышка.

В дальнейшем в испытаниях от 20.09.2017 по 21.09.2017 использовался макетный образец привода с отработанной системой управления на опытном образце привода.

Целью последующих испытаний являлось:

1. Проверка работы системы управления при снижении напряжения с 170 В до 145 В.
2. Получение 18 кВт выходной мощности

В испытаниях от 20.09.2017 было проведено 4 пуска. В 1ом пуске была проведена проверка работы системы управления при снижении напряжения от 170 В до 145 В. В качестве системы охлаждения был использован замкнутый контур охлаждения с прокачиваемой наносом Walbro 255 жидкостью - водой. Результаты пуска представлены ниже.

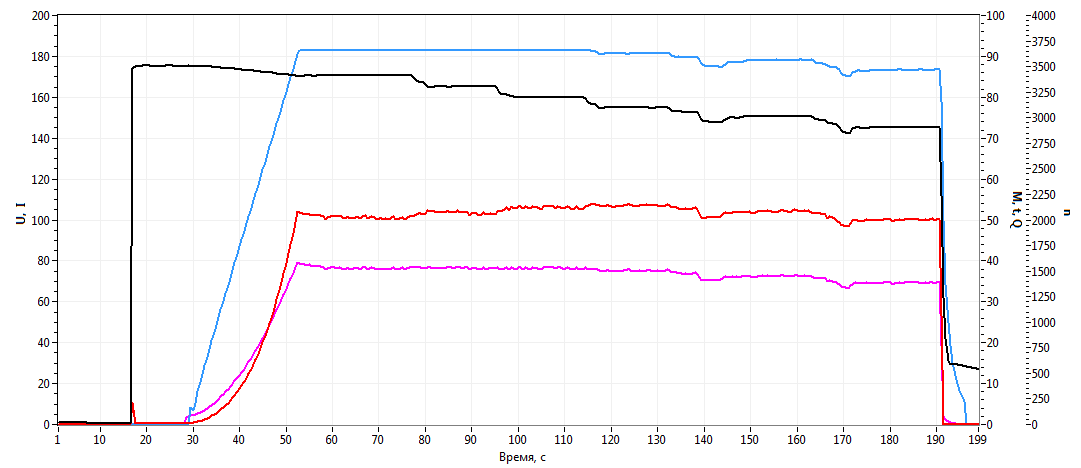


Рис.4 График пуска при проверке работы СУ при снижении напряжении от 170 В до 145 В.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| time | U | I | n | M |
| 74,5 | 170,7 | 101,3 | 3658 | 38,3 |
| 87,0 | 165,3 | 103,8 | 3658 | 38,3 |
| 107,0 | 159,9 | 106,4 | 3658 | 38,3 |
| 124,0 | 154,9 | 107,8 | 3623 | 38,0 |
| 162,5 | 150,5 | 104,4 | 3562 | 36,3 |
| 182,0 | 145,3 | 99,8 | 3468 | 34,5 |

Таблица 4. Результат проверки работы СУ при снижении напряжении от 170 В до 145 В.

Как видно из таблицы, значение оборотов уменьшилось на 190 об/мин при снижении напряжения от 170 В до 145 В, до 155 В частота вращения не менялась.

Последующие пуски были проведены с целью получения 18 кВт выходной мощности на макетном образце привода.

Было проведено 3 пуска с разным значением слитой воды из тормозного устройства.

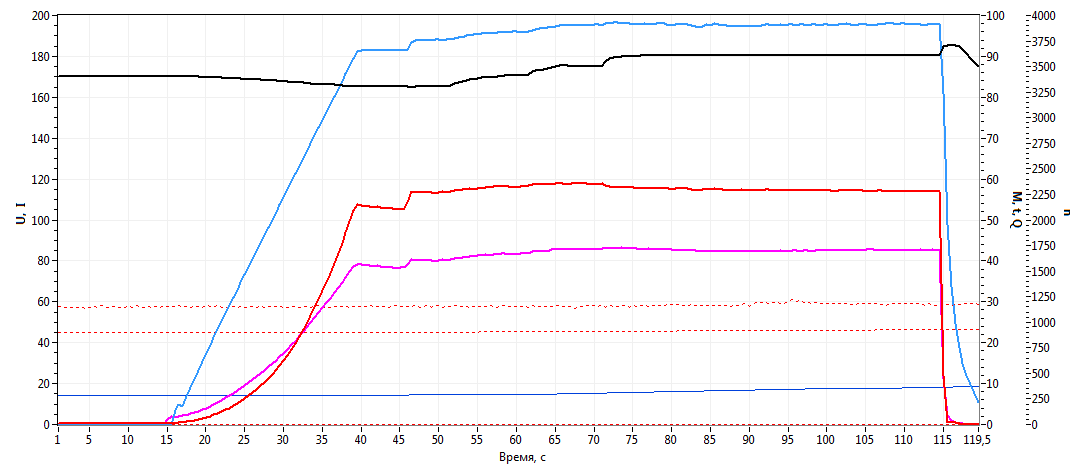


Рис.4 График пуска 15 л слитой воды из тормозного устройства.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| time | U | I | n | M | P |
| 43,0 | 165,3 | 106,2 | 3658 | 38,6 | 14,7 |
| 49,0 | 165,1 | 113,4 | 3756 | 40,1 | 15,6 |
| 58,5 | 170,4 | 116,4 | 3831 | 41,7 | 16,6 |
| 66,5 | 175,2 | 117,7 | 3899 | 42,8 | 17,4 |
| 79,0 | 180,3 | 115,5 | 3920 | 42,7 | 17,4 |
| 110,5 | 180,3 | 114,1 | 3921 | 42,6 | 17,3 |

Таблица 4. Полученные значения при 15 л слитой воды из тормозного устройства.

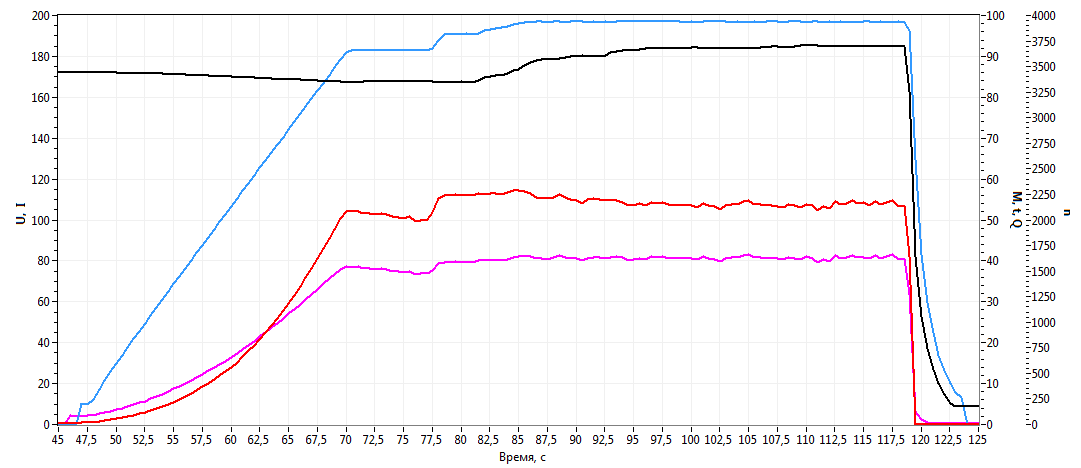


Рис.5 График пуска 25 л слитой воды из тормозного устройства.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| time | U | I | n | M | P |
| 82,0 | 170,2 | 113,0 | 3867 | 40,1 | 16,1 |
| 91,5 | 180,1 | 110,2 | 3936 | 40,8 | 16,4 |
| 100,0 | 184,1 | 107,3 | 3936 | 40,7 | 16,4 |
| 109,0 | 185,2 | 105,9 | 3937 | 40,3 | 16,6 |
| 117,5 | 185,0 | 108,5 | 3936 | 41,0 | 16,5 |

Таблица 5. Полученные значения при 25 л слитой воды из тормозного устройства.

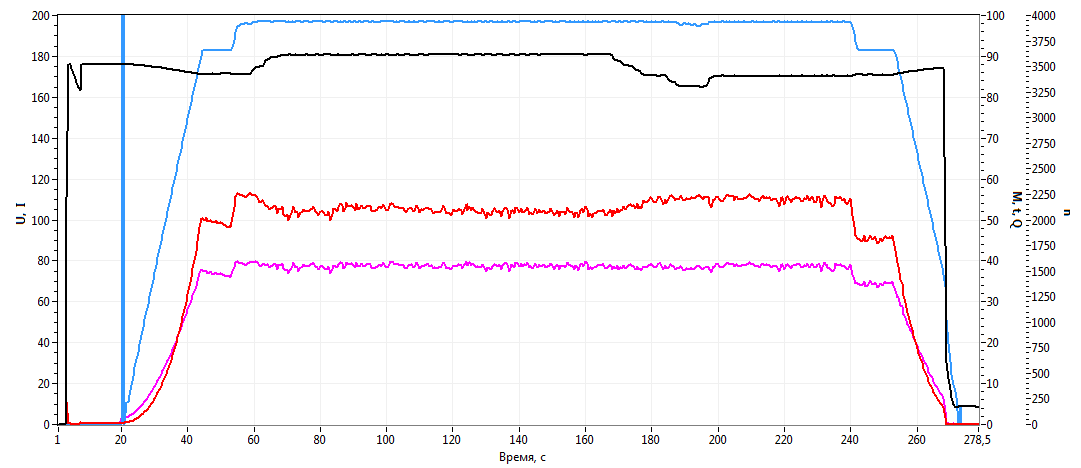


Рис.6 График пуска при 35 л слитой воды из тормозного устройства.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| time | U | I | n | M | P |
| 68,0 | 180,1 | 105,8 | 3937 | 39,0 | 16,3 |
| 166,5 | 180,8 | 103,8 | 3936 | 38,7 | 15,9 |
| 173,0 | 175,5 | 106,4 | 3937 | 38,6 | 16,1 |
| 183,5 | 170,6 | 109,9 | 3937 | 38,8 | 15,8 |
| 191,5 | 165,1 | 110,8 | 3907 | 38,2 | 15,5 |
| 210,5 | 170,3 | 111,5 | 3937 | 39,2 | 16 |
| 235,0 | 170,3 | 111,6 | 3936 | 39,3 | 16,2 |

Таблица 6. Полученные значения при 35 л слитой воды из тормозного устройства.

В испытаниях от 21.09.2017 были проведены следующие опыты:

1. Проверка длительности работы привода с заполненной системой охлаждения без включения протока
2. Проверка длительности работы системы управления и двигателя без охлаждения
3. Получение 18 кВт на выходе

В результате с полным заполнением системы охлаждения, но с выключенным насосом Walbro 255 длительность пуска составила 135 сек. Результаты представлены в таблице ниже.

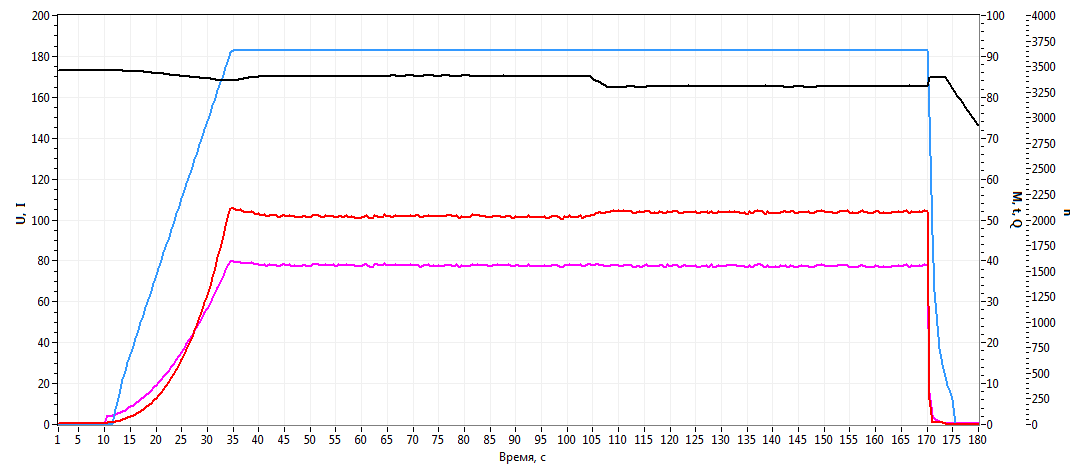


Рис.7 График пуска при полном заполнении системы охлаждения и без протока.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| time | U | I | n | M | P | КПД |
| 45,5 | 170,1 | 102,2 | 3658 | 39,0 | 14,7 | 0,853 |
| 79,0 | 170,4 | 102,2 | 3658 | 39,0 | 14,7 | 0,851 |
| 100,5 | 170,4 | 101,4 | 3658 | 38,9 | 14,8 | 0,855 |
| 111,0 | 165,3 | 104,1 | 3658 | 38,8 | 14,6 | 0,859 |
| 140,0 | 165,3 | 103,0 | 3658 | 38,4 | 14,7 | 0,858 |
| 169,0 | 165,3 | 104,2 | 3658 | 38,8 | 14,8 | 0,856 |

Таблица 7. Значения пуска при полном заполнении системы охлаждения и без протока.

К следующему пуску была выкачана вода из системы охлаждения, и проведен пуск привода длительностью 120 сек. Результаты представлены в таблице ниже.

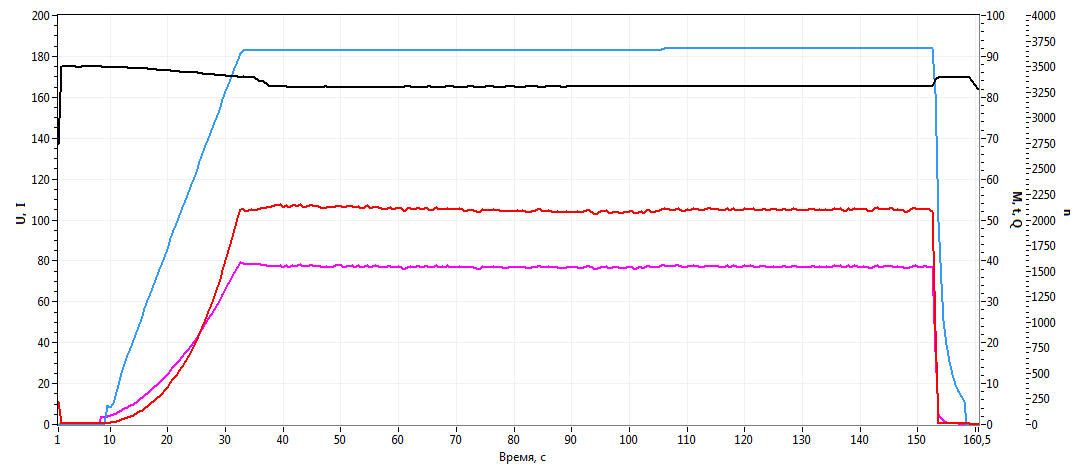


Рис.8 График пуска без охлаждения СУ и рубашки двигателя.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| time | U | I | n | M | P | КПД |
| 43,5 | 165,0 | 106,8 | 3658 | 38,7 | 14,8 | 0,835 |
| 70,5 | 165,0 | 105,0 | 3658 | 38,4 | 14,5 | 0,842 |
| 100,0 | 165,3 | 104,0 | 3658 | 38,5 | 14,5 | 0,849 |
| 107,5 | 165,3 | 105,3 | 3674 | 38,8 | 14,6 | 0,848 |
| 150,5 | 165,2 | 105,2 | 3674 | 38,6 | 14,8 | 0,849 |

Таблица 8. Результат пуска без охлаждения СУ и рубашки двигателя.

Для проведения пуска с целью получения 18 кВт было поднято значение ограничения по току в настройках системы управления со 185 А до 205 А. Также по испытаниям от 20.09.2017 было принято решение слить из тормозного устройства 15 л воды для достижения требуемого значения мощности.

В качестве системы охлаждения был использован замкнутый контур охлаждения с прокачиваемой насосом Walbro 255 водой(расход 35 мл/с). Задаваемая частота вращения ротора – 24000 об/мин. Время проведения пуска – 5,5 мин. Остановка привода была осуществлена с системы управления по причине высокого нагрева обмоток (145оС). Результаты испытания представлены ниже.

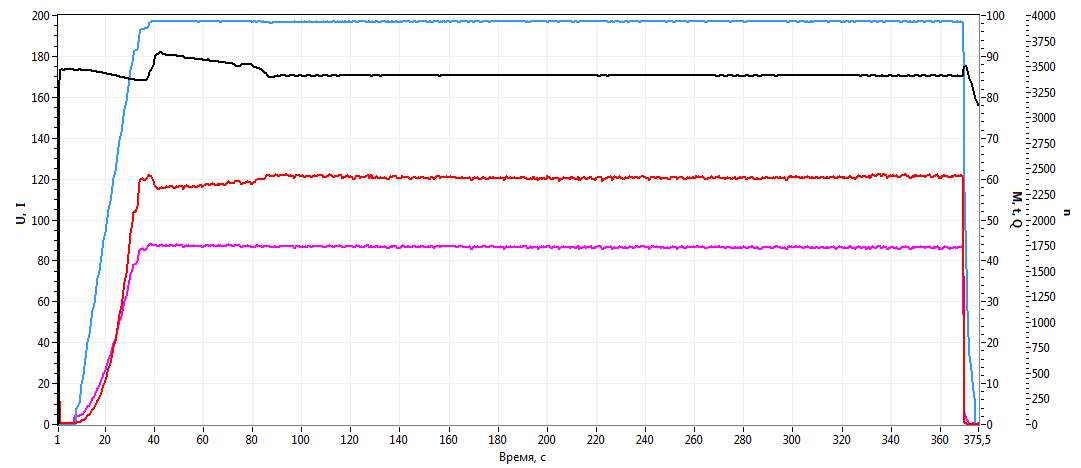


Рис.9 График пуска с целью получения 18 кВт выходной мощности.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| time | U | I | n | M | P | КПД |
| 43,0 | 181,5 | 115,6 | 3937 | 43,8 | 17,9 | 0,853 |
| 74,5 | 175,2 | 118,7 | 3937 | 43,7 | 17,9 | 0,857 |
| 91,0 | 170,4 | 121,2 | 3936 | 43,3 | 17,8 | 0,856 |
| 146,5 | 170,7 | 120,7 | 3937 | 43,4 | 17,7 | 0,860 |
| 207,5 | 170,6 | 120,5 | 3937 | 43,3 | 17,7 | 0,860 |
| 256,5 | 170,7 | 120,9 | 3936 | 43,4 | 17,8 | 0,860 |
| 299,0 | 170,7 | 121,3 | 3937 | 43,6 | 17,8 | 0,861 |
| 367,5 | 170,4 | 121,5 | 3937 | 43,2 | 17,8 | 0,854 |

Таблица 9. Результат пуска с целью получения 18 кВт выходной мощности.