



УДК 621.313-57

Бурда Евгений Мордкович, доцент, к.т.н. кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта ФГБОУ ВО «ВГУВТ»;

Попов Сергей Васильевич, доцент, к.т.н. кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта ФГБОУ ВО «ВГУВТ».

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА УСТРОЙСТВА ПЛАВНОГО ПУСКА С УЧЕТОМ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИВОДА

Аннотация. В статье рассмотрены электроприводы, использующие электродвигатели большой мощности. Рассмотрены вопросы, связанные с ограничением пускового тока таких электродвигателей и возможность использования для этих целей устройств плавного пуска. Даны рекомендации по выбору устройств для плавного пуска мощных электродвигателей с учетом характеристики нагрузки.

Ключевые слова: электропривод, асинхронный двигатель, устройство плавного пуска, электродвигатель большой мощности, подруливающее устройство.

В настоящее время на рынке представлено множество производителей, изготавливающих асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором (АДКЗ). Двигатели одной и той же мощности могут иметь существенные различия по КПД в номинальном режиме, пусковому моменту и пусковому току. Использование систем плавного пуска хорошо сочетается с АДКЗ, которые имеют высокий стартовый момент при прямом пуске [1-3]. В этом случае можно существенно снизить пусковой ток, что положительно сказывается на питающей сети ограниченной мощности.

На рисунке 1 приведены характеристики типового АДКЗ, которые показывают снижение пускового тока (*a*) и изменение момента на валу при разгоне электродвигателя (*b*). Пусковой момент двигателя значительно превышает номинальный, что позволяет выполнять прямой пуск с номинальной нагрузкой [3]. Для плавного разгона электродвигателя, например, подруливающего устройство (рис. 1, *в*) может применяться устройство плавного пуска (УПП).

Стартовый крутящий момент существенно зависит от мощности электродвигателя. Для небольших двигателей до 30 кВт он составляет $(2,5-3,0) \cdot M_{ном}$. Для двигателей средней мощности - до 250 кВт значение пускового момента превышает номинальный в 2-2,5 раза. Для двигателей большой мощности пусковой момент может оказаться меньше номинального.

В последнее время выпускаются специальные мощные АДКЗ с очень высоким

КПД, которые агрегируются на заводе изготовителе механизмами, имеющими вентиляторную нагрузку, такими как турбокомпрессоры, насосы, подруливающие устройства, винторулевые колонки и вентиляторы. Эти двигатели имеют высокий КПД, достаточно малое номинальное и критическое скольжение, а пусковой момент на уровне $(0,5-0,7) \cdot M_{НОМ}$. Пуск таких двигателей связан с определенными трудностями. Как правило, пуск осуществляется при нулевом угле атаки винта (для винтов с изменяемым шагом), что снижает момент сопротивления.

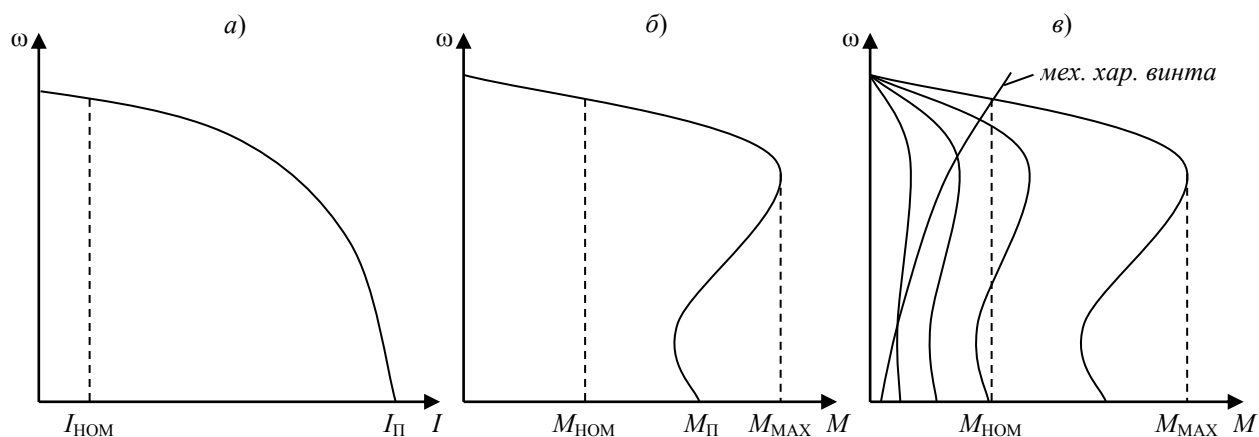


Рис. 1. Характеристики типового АДКЗ

Там, где требуется регулирование скорости вращения электродвигателя, используется преобразователь частоты, что позволяет обеспечить низкий пусковой ток на уровне 1-1,5 номинального при номинальном пусковом моменте.

В случае, когда регулирования производительности механизма, т. е. скорость вращения двигателя, не требуется, то с экономической точки зрения выгоднее использовать устройство плавного пуска. Для подруливающих устройств, как правило, для винтов фиксированного шага, пуск производится с нагрузкой. При этом для разгона электродвигателя требуется большие значения тока во всем диапазоне скорости.

На рисунках 2 и 3 представлены характеристики электропривода подруливающего устройства с асинхронным двигателем фирмы «Siemens AG», мощностью 550 кВт.

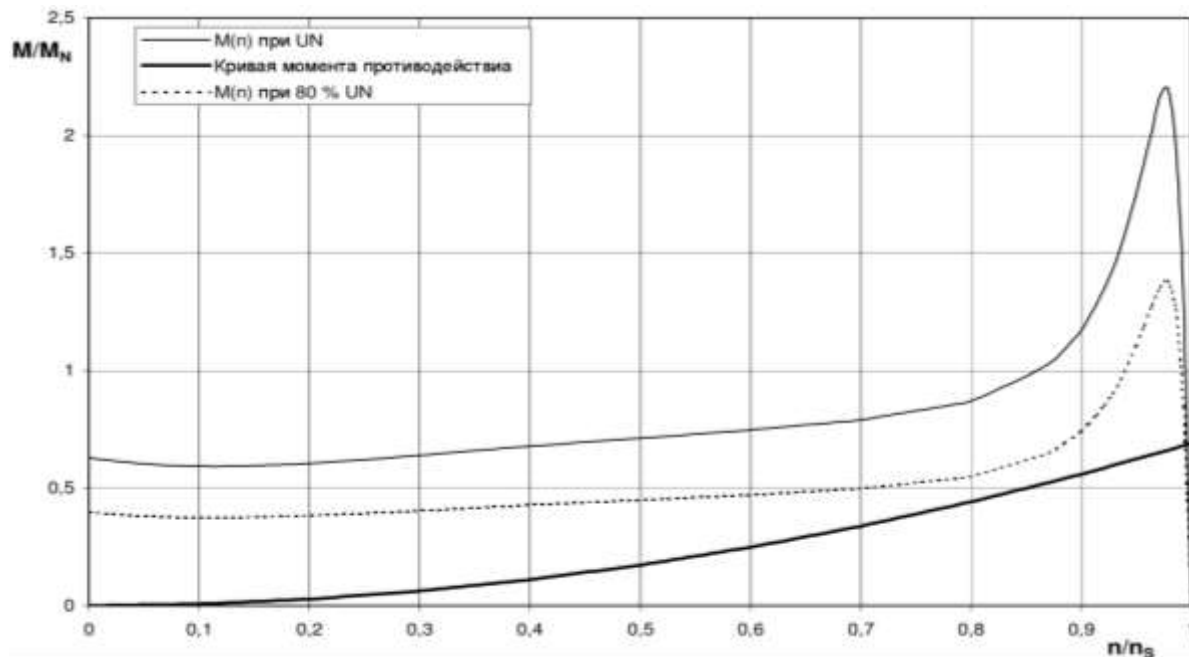


Рис. 3. Механическая характеристика привода при пуске подруливающего устройства

Прямой пуск занимает 4 с, при пусковом токе равном $5,5 \cdot I_{НОМ}$. На заводе -

Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава,
аспирантов и студентов

изготовителе прошли испытания пуска при пониженном до 80% номинального напряжения питающей сети. Время пуска увеличилось до 18,5 с при пусковом токе $4,4 \cdot I_{НОМ}$.

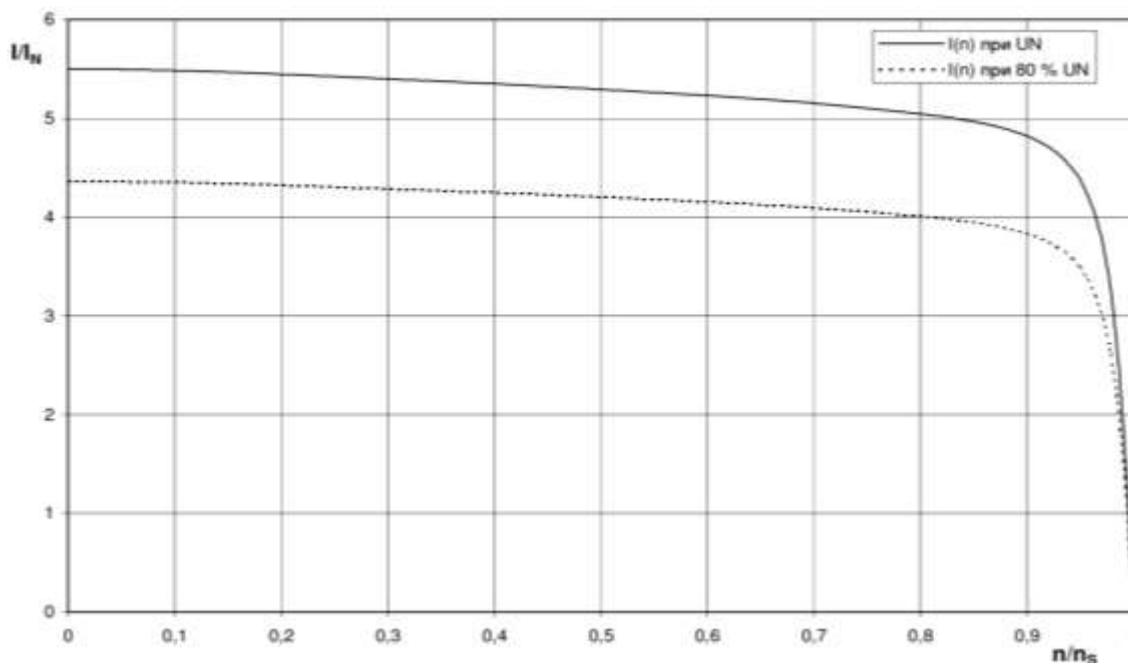


Рис. 4. Электромеханическая характеристика привода при пуске подруливающего устройства

Для снижения пускового тока по общепринятым рекомендациям было выбрано УПП на номинальный ток двигателя. При этом большинство устройств плавного пуска рассчитано на максимальную кратность пускового тока $(3,5-4,0) \cdot I_{НОМ}$, с временем разгона до 30 с.

Максимальное значение времени разгона зависит от момента инерции механизма и его включении на полную нагрузку (например открытые задвижки у насоса или подруливающие устройства с ВФШ). Для испытаний было установлено УПП с $I_{МАХ}=3,75 \cdot I_{НОМ}$ и временем разгона до 30с.

Расчет времени пуска подруливающего устройства, выполненный в соответствии с его техническими характеристиками и характеристиками двигателя, показывает, что при ограничении тока на уровне максимально допустимого $3,75 \cdot I_{НОМ}$, динамический момент в диапазоне скоростей $(0,66-0,83) \cdot n_{НОМ}$ находится в пределах $(0,03-0,08) \cdot M_{НОМ}$. При этом, расчетное время пуска составляет около 38 с., причем на разгон в диапазоне скоростей $(0,66-0,83) \cdot n_{НОМ}$ потребуется около 20 с.

Результаты расчета сведены в таблицу 1, по которым были построены характеристики, показанные на рисунках 4 и 5.

Таблица 1

Скорость двигателя, $n/n_{НОМ}$	Напряжение, $U/U_{НОМ}$	Момент двигателя, $M/M_{НОМ}$	Момент сопротивления, $M_c/M_{НОМ}$	Динамический момент, $M_d/M_{НОМ}$	Текущее время пуска, с
0	0,68	0,29	0	0,29	0
0,1	0,68	0,28	0,01	0,27	1,2
0,2	0,69	0,31	0,03	0,28	2,43
0,3	0,69	0,32	0,07	0,25	3,71
0,4	0,7	0,35	0,11	0,24	5,09
0,5	0,71	0,36	0,175	0,185	6,66
0,6	0,71	0,38	0,25	0,13	8,8
0,65	0,72	0,4	0,3	0,1	11,4
0,7	0,73	0,42	0,35	0,07	14,78

0,75	0,735	0,45	0,4	0,05	19,61
0,8	0,74	0,48	0,45	0,03	26,37
0,85	0,76	0,56	0,5	0,06	32,65
0,9	0,78	0,71	0,56	0,15	35,32
1,0	1,0	0,69	0,69	0	37,57

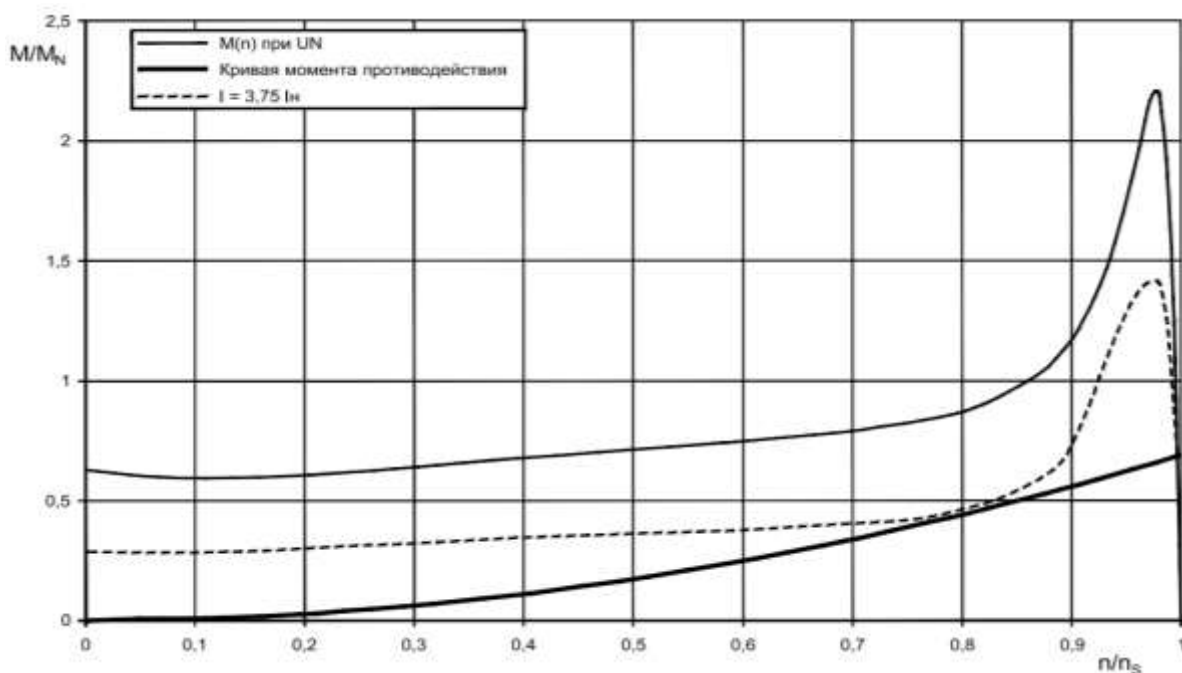


Рис. 5. Механическая характеристика привода при пуске подруливающего устройства

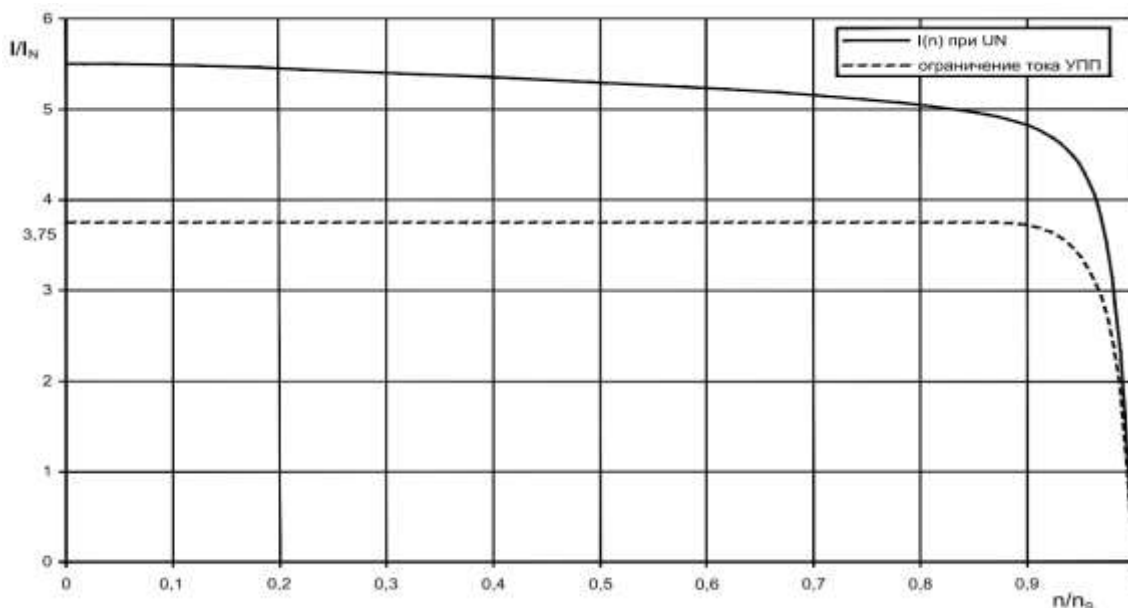


Рис. 6. Электромеханическая характеристика привода при пуске подруливающего устройства

При выполнении пуска реального электропривода момент сопротивления оказался несколько выше расчетного, а устройство плавного пуска было рассчитано на кратность пускового тока $3,5 \cdot I_{ном}$. Запаса в 3-8 % по динамическому моменту не осталось, что привело к зависанию двигателя на промежуточной скорости в районе $0,75 \cdot n_{ном}$.

В результате экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Пуск электродвигателей подруливающих устройств большой мощности с помощью УПП соизмеримой мощности практически невозможен при кратности

пускового тока ниже $4,0 \cdot I_{\text{НОМ}}$, поэтому необходимо выбирать УПП следующего габарита на больший номинальный ток.

2. При необходимости запуска ПУ от УПП соизмеримой мощности в момент «зависания» двигателя на промежуточной скорости, по сигналу аварии, дать команду на шунтирование УПП. При этом следует понимать, что бросок тока в момент переключения может составить $(4,8-5,0) \cdot I_{\text{НОМ}}$. Такой бросок тока может вызвать значительный провал напряжения сети, который окажет влияние на нормальную работу потребителей.

Список литературы:

1. Johan Rees, Magnus Kjellberg, Sören Kling, Softstarter Handbook, <https://library.e.abb.com/public/6b4e1a3530814df0c12579bb0030e58b/1SFC132060M0201.pdf>
2. Каталог устройств плавного пуска Schneider Electric. Режим доступа: <https://www.se.com/ru/ru/product-subcategory/3040>.
3. Учебное пособие по выбору и применению устройств плавного пуска. Руководство АВВ. Режим доступа: <https://library.e.abb.com/public/ed2a997edcee43a6bf5ab856cc5ffe20/Softstarters%20manual%202016.pdf>.

FEATURES OF SELECTING A SOFT START DEVICE TAKING INTO ACCOUNT THE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF THE DRIVE

Evgeny M. Burda, Sergey V. Popov

Keywords: electric drive, asynchronous motor, soft start device, high-power electric motor, thruster.

Annotation. The article deals with electric drives that use high-power electric motors. Issues related to limiting the starting current of such electric motors and the possibility of using soft-start devices for this purpose are considered. Recommendations are given on the choice of devices for smooth start of powerful electric motors, taking into account the load characteristics.