

## ВЫБОР ШИНОПРОВОДОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ НА ОСНОВЕ РАСЧЁТА ТОКОВОЙ НАГРУЗКИ

Борис Георгиевич МОСКОВСКИЙ, генеральный директор

ООО «Кондактикс-Вампфлер», г. Москва

**Рассмотрен расчёт токовой нагрузки при выборе нужного шинпровода, исходя из величины тока, который требуется передать к движущимся механизмам. Показано выполнение расчёта на падение напряжения для выбора материала проводника токопроводящей шины и для определения количества и расположения точек подвода питания к шинпроводу.**

**Ключевые слова:** грузоподъемные краны, шинпроводы, расчет по току, расчет падения напряжения, влияние температуры, сечение и материал шины, число точек питания.

В предыдущих статьях [1-3] были рассмотрены типы шинпроводов и критерии их выбора, исходя из условий применения. Современные средства для подбора оборудования часто представляют собой специализированные компьютерные программы, и важно знать, на каких принципах основана их работа. Этому способствует рассмотрение методики расчёта «вручную», которая кроме того позволяет получить и увидеть необходимые данные, которые кажутся неважными на первый взгляд, но на самом деле оказывают значительное влияние на результат.

Итак, мы выбрали нужный тип (или возможные типы) шинпровода для конкретного проекта. Далее следует провести расчёт по току для определения нужного номинала шинпровода из возможных, а также провести расчёт падения напряжения для указания количества и расположения точек подвода питания и для определения материала шины.

Основой для расчёта являются характеристики токопотребителей (кранов), получающих питание от шинпровода, а также длина их перемещения, определяющая общую длину шинпровода – длину линии. Под характеристиками в данном случае мы понимаем: количество приводных механизмов в

кранах; мощность механизмов кранов и постоянных потребителей (освещение, кондиционирование); рабочее напряжение; систему управления приводами кранов; продолжительность включений (ПВ, %) механизмов кранов. Также необходимо знать температуру окружающей среды.

Последовательность выполнения расчёта следующая.

Определение суммарного номинального тока всех потребителей и ориентировочный подбор шинпровода по току.

Определение номинального тока совокупности кранов и механизмов на линии, исходя из одновременности их работы.

Применение поправочных коэффициентов, связанных с учётом ПВ и температуры окружающей среды.

Окончательный выбор шинпровода по току и расчёт падения напряжения по формулам определения его величины с учетом рабочей температуры.

Подбор сечения и материала шины и числа точек питания.

**Определение суммарного номинального тока всех потребителей и ориентировочный подбор шинпровода по току.** В первую очередь нас интересуют значения номинальных токов всех приводов и других потреби-

телей, установленных на каждом кране, их ПВ и ограничения по одновременности работы (если они есть). Обычно каждый кран имеет не менее трех механизмов – подъёма, передвижения тележки и перемещения моста.

Для того, чтобы узнать максимальный номинальный ток на линии, можно просто просуммировать мощности всех механизмов всех кранов, однако этот способ нерационален, так как не учитывает одновременности включения механизмов и их ПВ. С их учетом мы можем значительно снизить затраты на приобретение системы шинпровода, так как правильный расчёт дает номинальный ток гораздо меньший, чем при простом суммировании мощности всех приводов. Также заметно влияет температура в месте установки кранов, например, в цехах литейных производств она может быть настолько высокой, что дополнительный нагрев шинпровода существенно увеличит его сопротивление (импеданс) и снизит несущую способность по току.

Часто в качестве начальных данных для расчёта используются не номинальные токи приводов, а значения мощности приводов кранов, которые нужно перевести в значения токов, потребляемых приводами при нормальной нагрузке. Для этого можно применить известные формулы, или воспользоваться справочными таблицами, например, табл. 1.

**Определение номинального тока питания совокупности кранов и механизмов на линии, исходя из одновременности их работы.** Как правило, не все механизмы крана работают одновременно. Так, очень часто запрещена одновременная работа механизмов подъёма, перемещения тележки и перемещения крана. Поэтому при расчёте общего номинально-

Таблица 1

Соответствие мощности току в зависимости от рода тока и напряжения (некоторые значения)

| Мощность привода, кВт | Постоянный ток при напряжении, В |      |      | Переменный трёхфазный ток при напряжении, В |       |       |       |       |       |
|-----------------------|----------------------------------|------|------|---|-------|-------|-------|-------|-------|
|                       | 230                              | 400  | 660  | 230   |       | 400   |       | 660   |       |
|                       |                                  |      |      | $I_N$                                       | $I_A$ | $I_N$ | $I_A$ | $I_N$ | $I_A$ |
| 3                     | 17                               | 8,5  | 6,3  | 12,1  | 76,6  | 7     | 42    | 4     | 24    |
| 5,5                   | 30                               | 15,5 | 11   | 20,2  | 141,4 | 11,7  | 81,9  | 6,7   | 46,9  |
| 7,5                   | 41                               | 21   | 15,5 | 27  | 170,1 | 15,6  | 98,28 | 9     | 56,7  |
| 11                    | 60                               | 30   | 21,5 | 38  | 247   | 22    | 143   | 12,6  | 81,9  |
| 15                    | 81                               | 41   | 30   | 50  | 325   | 29    | 188,5 | 16,7  | 108,5 |
| 18,5                  | 97                               | 49   | 37   | 66  | 423   | 38    | 243,2 | 22    | 140,8 |
| 22                    | 116                              | 58   | 43   | 78  | 491   | 45    | 288   | 26    | 166,4 |
| 30                    | 155                              | 78   | 58   | 104   | 666   | 60    | 384   | 35    | 224   |
| 37                    | 190                              | 96   | 70   | 122   | 794   | 72    | 460   | 41    | 262,4 |

Примечание:  $I_N$  – номинальный ток;  $I_A$  – стартовый ток стандартного короткозамкнутого асинхронного электродвигателя 1500 об/мин (для других типов электродвигателей следует использовать заводские данные).

го тока следует учитывать только механизмы, работающие одновременно, и при этом наиболее мощные. Например, мостовой кран имеет два наиболее мощных механизма – подъёма и перемещения тележки. Их и следует принимать в расчёт, не учитывая мощность механизма перемещения крана (моста). Но следует учесть мощность постоянно работающих потребителей – систем освещения и кондиционирования. В любом случае, нужно внимательно ознакомиться с количеством и характеристиками приводов кранов, разрешёнными и возможными режимами работы, и рассматривать случай с максимально возможным значением потребляемой мощности (номинального тока). Просуммировав номинальные токи всех одновременно работающих кранов и механизмов, можно получить значение номинального тока  $I_{\Sigma}$ , кото-

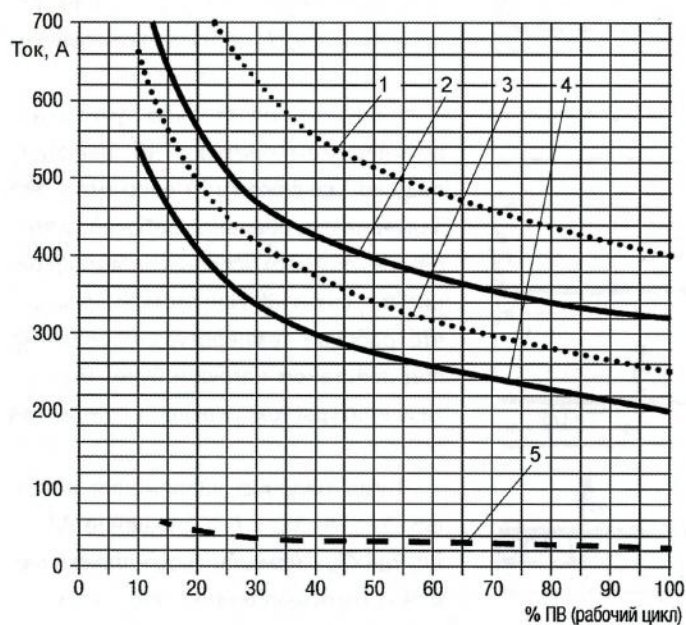


Рис. 1. Соответствие токов величинам ПВ для различных шин: 1 – медная шина 400 А; 2 – алюминиевая шина 320 А; 3 – медная шина 250 А; 4 – алюминиевая шина 200 А; 5 – стальная шина 25 А

рое используется далее для выбора шинпровода.

**Введение поправки, связанное с учётом ПВ.** Фактор ПВ является весьма важным для определения реальной токовой нагрузки на систему троллейного шинпровода. Обычно под продолжительностью включения понимается отношение времени, в течение которого механизм работает, ко времени общего цикла работы (время работы плюс время пауз). Однако важной является продолжительность этого цикла. В среднем за рабочую смену мы можем получить значение ПВ = 15% или меньше. Но в определённые пери-

оды (например, в течение 20 мин) кран напряжённо работает с гораздо большей интенсивностью, и для расчёта необходимо рассматривать именно такой самый напряжённый промежуток времени. Обычно в качестве продолжительности цикла работы рассматривают промежуток не менее 10 мин (в соответствии со стандартом).

Для общепромышленных кранов значение ПВ обычно принимается равным 40%. Для металлургических кранов часто ПВ = 60%. Для технологических кранов возможно ПВ = 80%.

Таким образом, приведение суммарного номинального тока  $I_{\Sigma}$  к его значению  $I_G$ , приближенному к реальной работе механизмов крана, позволяет использовать систему шинпровода, рассчитанную на меньшее значение тока, чем если бы мы учитывали просто сумму номинальных токов всех одновременно работающих механизмов.

Значение приведённого после учёта ПВ тока  $I_G$  зависит от температуры окружающей среды и материала токопроводной шины. Согласно нормам принимается температура +35°C. Современные шины изготавливаются из меди или алюминия. Для выбора значения тока обычно пользуются графиками, один из которых в качестве примера приведён на рис. 1 для медных и алюминиевых шин номиналом 200, 250, 320 и 400А при  $t = 35^\circ\text{C}$ .

Как видно, при ПВ = 40% и сумме номинальных токов 300А можно использовать алюминиевую шину, рассчитанную на 200А, а не медную шину на 400А.

**Применение поправочного коэффициента, связанного температурой окружающей среды.** Температура окружающей среды в большинстве случаев отличается от температуры +35°C, отмеченной выше. Поэтому следует учитывать верхний предел рабочей температуры, отражённый в техническом задании. Чем выше температура, тем хуже конвекция и охлаждение проводника, увеличивая его сопротивление (импеданс), что учитывается коэффициентом  $f_a$ . Если

Таблица 2

| Шины        | Значения коэффициента $f_a$ при температуре |      |      |      |      |
|-------------|---|------|------|------|------|
|             | 35°C  | 40°C | 45°C | 50°C | 55°C |
| Стальная    | 1,00  | 0,97 | 0,94 | 0,91 | 0,88 |
| Алюминиевая | 1,00  | 0,92 | 0,81 | 0,76 | 0,68 |
| Медная      | 1,00  | 0,93 | 0,87 | 0,82 | 0,78 |

Таблица 3

| Шины        | Значения коэффициента $f_v$ при температуре окружающей среды / рабочей |           |           |           |           |
|-------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|
|             | 35°C/65°C  | 40°C/70°C | 45°C/75°C | 50°C/80°C | 55°C/85°C |
| Стальная    | 0,993  | 0,991     | 0,990     | 0,989     | 0,988     |
| Алюминиевая | 0,916  | 0,904     | 0,891     | 0,879     | 0,868     |
| Медная      | 0,912  | 0,899     | 0,887     | 0,874     | 0,862     |

температура окружающей среды не больше +35°C, этот коэффициент принимают равным 1,0. Значения его при более высокой температуре приведены в табл. 2.

Номинальный ток, на который должен быть рассчитан шинопровод с учётом фактора температуры, определяется по формуле  $I_{Gt} = I_G \cdot f_a$ .

**Окончательный выбор шинопровода по току.** Значение  $I_{Gt}$  окончательно используется для выбора шинопровода по номинальному току. Из всех имеющихся номиналов выбирается ближайший, больший этого значения.

**Расчёт падения напряжения с учетом рабочей температуры.** Шинопровод представляет собой длинный проводник, с которого в разных точках снимается напряжение, и одновременно в определённых точках подводится питание от сети. При работе в нем неизбежно возникает потеря напряжения, которая зависит от величины пусковых токов механизмов кранов, их удалённости от точек подвода питания, длины шинопровода, типов приводов, рода тока, расположения точек ввода питания, температуры окружающей среды.

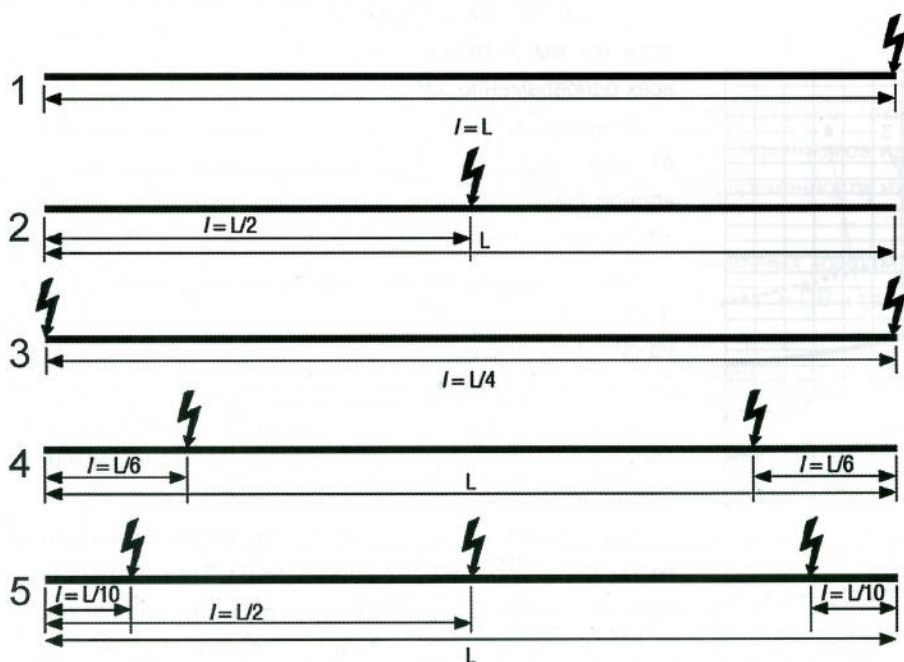


Рис. 2. Различные варианты выбора точек ввода питания в систему: 1 – ввод с одного конца; 2 – ввод из середины; 3 – ввод с обоих концов; 4 – ввод с обеих сторон на расстоянии  $L/6$  от каждого конца; 5 – ввод из середины и с обеих сторон на расстоянии  $L/10$  от каждого конца

Величина допустимого падения напряжения определяется заказчиком и составляет, как правило, до 5%, в исключительных случаях до 10%. Современные частотные приводы требовательны к качеству электроэнергии, поэтому для них обычно принимают допустимое падение напряжения до 3%. Для определения величины падения напряжения используют следующие формулы: при постоянном токе  $\Delta U = 2 \cdot I \cdot I_G \cdot R$ ; при переменном трёхфазном токе  $\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot I_G \cdot Z$ , где  $\Delta U$  – падение напряжения при температуре +35°C;  $R$  – сопротивление шинопровода (справочная величина для конкретного вида шинопровода);  $Z$  – комплексное сопротивление (импеданс) шинопровода (справочная величина для конкретного вида шинопровода);  $I_G$  – суммарный пусковой ток, включающий в себя сумму пусковых токов  $I_A$  одновременно включающихся приводов механизмов (см. табл. 1), а также ток, потребляемый постоянными потребителями (освещение, кондиционирование и др.);  $l$  – длина, определяемая точками ввода (подключения) шинопровода, исходя из рис. 2.

В случае, если применяются приводы с частотным регулированием, пусковой ток  $I_A$  принимают равным  $(1,2...1,8) \cdot I_N$ .

Следует обязательно учитывать влияние температуры на величину падения напряжения и рассчитать его значение при реальной рабочей температуре, для чего используется коэффициент  $f_v$  (табл. 3). При этом принимаем, что рабочая температура проводника под действием нагрузки будет больше температуры окружающей среды на 30°C.

Тогда падение напряжения составит  $\Delta U_p = \Delta U / f_v$ . Отношение  $\Delta U_p / U_n$ , где  $U_n$  – номинальное напряжение, может быть выражено в процентах.

**Подбор сечения и материала шины и числа точек питания.** После проведённых расчётов мы получим реальное значение падения напряже-



ния. Если оно будет больше определённого в техническом задании можно применить шинопровод с меньшим значением импеданса (сопротивления), переходя на шину с большим сечением проводника, или с алюминиевой шины на медную, а также увеличить число точек подачи питания в шинопровод с тем, чтобы уменьшить значение  $I$ . Возможна комбинация обоих этих способов.

Таким образом, правильно подобранная и рассчитанная система шинопровода (номинальное значение тока, материал), а также рациональное расположение точек подвода пита-

ния к шинам обеспечат высокое качество электроснабжения механизмов крана с точки зрения, как несущей способности по току для достаточного электроснабжения потребителей, так и поддержания приемлемого для данного типа приводов уровня напряжения. При этом будут использованы оптимальные шины с точки зрения затрат на материалы.

### Литература

1. **Московский Б.Г.** Классификация систем передачи энергии и информации в подъемно-транспортных маши-

нах // Подъемно-транспортное дело. – 2017. – № 4-5. – С. 14-18.

2. **Московский Б.Г.** Современные системы электропитания машин и механизмов. Выбор шинопроводов для мостовых грузоподъемных кранов // Подъемно-транспортное дело. – 2016. – № 4-5. – С. 20-23.

3. **Московский Б.Г.** Особенности конструкции и применения изолированных шинопроводов // Подъемно-транспортное дело. – 2018. – № 1-2. – С. 2-5.

**Б.Г. Московский.**

Тел. (phone) 499-922-24-08. E-mail: boris.moskovskiy@conductix.com



## ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ МОТОРЫ В ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИНАХ И МЕХАНИЗМАХ

**Виктор Маирович БОЗРОВ**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник  
**Владимир Исаакович ИВЛЕВ**, канд. техн. наук, старший научный сотрудник  
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (ИМАШ РАН), г. Москва

**Изложены преимущества и особенности использования пневматических моторов в ряде видов подъемно-транспортного оборудования при наличии жестких требований к безопасности его эксплуатации. Дан краткий обзор результатов исследований, проведенных в ИМАШ РАН, по повышению их эксплуатационных характеристик.**

**Ключевые слова:** пневмомотор, математическая модель, оптимизация параметров.

В подъемно-транспортных машинах для горнорудной промышленности и взрывоопасных производств широко применяют пневмомоторы (ПМ) различных типов, что связано, в первую очередь, с требованиями безопасности. По сравнению с электро- и гидромоторами ПМ пожаро-взрывобезопасны, менее чувствительны к воздействию высоких температур, влажности и запыленности и в этом плане соответствуют самым высоким требованиям для работы во взрывоопасных и радиационных средах любой категории опасности. ПМ могут работать с большими перегрузками, в режиме частых пусков, остановок и реверсирования,

не перегреваясь, имеют высокую надежность, сравнительно малую массу и габариты на единицу развиваемой мощности и относительно невысокую стоимость.

Наибольшее применение нашли пластинчатые, поршневые и шестеренные ПМ. В качестве примера на рис. 1 представлена пневмоталь с пластинчатым ПМ модели CL500K фирмы «Ingersoll Rand» (США). Она же выпускает типоразмерный ряд пневмоталей грузоподъемностью от 1,5 до 25 т с шестеренным ПМ модели LCA015-250. На рынке имеется широкий спектр пневмолебедок с радиально-поршневыми ПМ, модель EU фирмы «Ingersoll

Rand» показана на рис. 2. ПМ оснащаются и некоторые модели погрузочно-транспортных машин, в том числе с подогревающим устройством для шахтных выработок, как на гусеничном, так и на колесном ходу, например, машина фирмы «Eimco Elecon» модели 824.

Аналогичную продукцию, разрабо-



Рис. 1. Пневматическая таль компании Ingersoll Rand (США)