

ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ КРАНОВОГО ШИНОПРОВОДА МОРСКОГО ПОРТА

Шинопровод, предназначенный для питания порталных кранов, расположен параллельно причалу порта, его длина составляет 350 м. Шинопровод выполнен алюминиевыми шинами сечением 120x12 мм², по 2 (3) параллельно включенные шины в каждой фазе. Фазы шинопровода размещены в вертикальной плоскости одна под другой в траншее (патерне). Шинопровод питается от трансформатора мощностью 1600 кВА, который установлен на береговой подстанции 10/0,4 кВ. Номинальный вторичный ток трансформатора равен $I_n=2312$ А, напряжение короткого замыкания $u_k = 5,5$ %. Соединение длиной 150 м между трансформатором и началом шинопровода выполнено 12-ю параллельно включенными алюминиевыми кабелями $3 \times 185 + 1 \times 150$ мм². Для подключения порталных кранов на шинопровode с шагом 35-40 м расположены крановые колонки.

Для выполнения работ по перевалке грузов причал укомплектован 4-мя порталными кранами «Сокол». Грузоподъемность крана «Сокол» в грейферном (основном) режиме составляет 16 т, скорость подъема 1,05 м/с, максимальный вылет стрелы 32 м. На кране наиболее мощным является привод подъема, в составе которого 2 двигателя мощностью по 110 кВт при ПВ=60 %, номинальный ток каждого двигателя 254 А.

При работе кранов неоднократно, особенно при наложении режимов подъема нескольких кранов, наблюдались отклонения напряжения питания, превышающие допустимые пределы, установленные действующими стандартами [1]. Экспериментальная проверка отклонений напряжения при работе кранов «Сокол» произведена при помощи анализатора качества электроэнергии МЕМОВОХ на крановой колонке, расположенной на расстоянии 245 м от начала шинопровода [2]. Эксперимент проводился при четырех работающих кранах, подключенных к крановым колонкам, которые расположены между началом шинопровода и местом измерения. Наибольшее значение фазного напряжения, равное 253 В (115 % номинального фазного напряжения $U_{ном} = 220$ В), зафиксировано при отсутствии тока по шинопроводу и соответствует напряжению вторичной обмотки силового трансформатора в режиме холостого хода, а минимальное значение напряжения зафиксировано на уровне 186 В (84,5 % $U_{ном}$). Для выяснения причины аномально больших падений напряжения проведен эксперимент по идентификации фактических электрических параметров сети, питающей краны, от шин подстанции до крановых колонок при протекании по ней трехфазного тока нагрузки. Суть эксперимента и методика его проведения рассмотрены в [3]. В результате обработки экспериментальных данных определены величины сопротивлений: полных Z , активных R и реактивных X_L , как для всей крановой сети, так и для отдельных участков шинопровода. Результаты эксперимента представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Сопротивления фаз крановой сети от подстанции до крановой колонки

Расположение колонки	Сопротивление, Ом	Фаза А	Фаза В	Фаза С
Начало шинопровода	Z	0,0131	0,0110	0,0108
	R	0,0099	0,0083	0,0060
	X_L	0,0086	0,0069	0,0089
Средняя часть шинопровода	Z	0,0276	0,0208	0,0237
	R	0,0169	0,0116	0,0076
	X_L	0,0219	0,0173	0,0224
Конец шинопровода	Z	0,0573	0,0419	0,0500
	R	0,0288	0,0182	0,0095
	X_L	0,0495	0,0378	0,0490

Результаты эксперимента показали, что активные сопротивления R фаз А, В и С шинопровода с погрешностью, не превышающей 10 %, соотносятся между собой как 3/2/1, причем даже минимальное значение сопротивления $R=0,0095$ Ом (фаза С) превышает на 25 % сопротивление протеканию постоянного тока по этой же цепи. Величины реактивных (индуктивных) сопротивлений X_L крайних фаз А и С практически совпадают (0,0495 и 0,0490 Ом), а сопротивление средней фазы В (0,0378 Ом) оказалось на 30 % ниже. Сопротивление сопротивлений в начале и конце шинопровода свидетельствует о том, что основное приращение активных и реактивных сопротивлений связано с шинопроводом и его конструкцией. Особенно это относится к индуктивным сопротивлениям: доля сопротивлений фаз шинопровода составляет не менее 80 % суммарных индуктивных сопротивлений фаз крановой сети.

Конструктивное исполнение кранового шинопровода таково, что сопротивления проводников его фаз изменяются под воздействием поверхностного эффекта (ПЭ) и эффекта близости (ЭБ) [4]. Влиянием ПЭ и ЭБ обусловлено искажение симметрии величин активных сопротивлений фазных проводников трехфазной силовой цепи, а их значения существенно отличаются от сопротивлений постоянному току. Существенный рост значе-

ний реактивных сопротивлений фаз шинопровода обусловлен как собственной, так и взаимной индуктивностью фазных проводников, которые зависят от геометрии шинопровода и шин, применения транспозиции проводников шинопровода. После выявления высокого индуктивного сопротивления шинопровода, которое является основным фактором, ограничивающим нагрузочную способность шинопровода, была проведена работа по установке (восстановлению) предусмотренных проектом кранов конденсаторных батарей на основных приводах. Это мероприятие позволило поднять до 0,85 коэффициент мощности приводов подъема кранов и, таким образом, уменьшить составляющую падения напряжения, определяемую произведением реактивной составляющей тока нагрузки двигателей крана и реактивного сопротивления крановой сети. Благодаря сравнительно невысокой вероятности совпадения одновременной работы всех 4-х кранов на подъем номинального груза, функционирование шинопровода хоть и происходило иногда в режимах, близких к предельным по провалам напряжения, но позволяло осуществлять перегрузочные операции кранами «Сокол».

Ввиду необходимости повышения темпа погрузки судов повышенной грузоподъемности, в порту приобрели электрогидравлический кран фирмы LIEBHERR, который обладает большими, чем у крана «Сокол», вылетом стрелы и массой перемещаемого груза. Кран оборудован двумя гидронасосами, приводные двигатели гидронасосов – асинхронные с номинальными параметрами: мощность 295 кВт, ток 525 А, коэффициент мощности 0,84. Система управления крана предусматривает защиту от пониженного напряжения питания; уровень срабатывания защиты 320 В с задержкой на нескольких секунд, в течение которых должен завершиться поочередный запуск двигателей переключением обмоток статора «звезда-треугольник». На причале кран LIEBHERR по технологическим соображениям установлен в конце шинопровода и может получать питание от двух последних крановых колонок. При попытке ввести его в эксплуатацию выяснилось, что его работоспособность по уровню питающего напряжения обеспечивается при выполнении двух условий: линейное напряжение в режиме холостого хода U_{xx} должно быть не менее 430 В и на причале не должны работать все 4 крана «Сокол». Такой же точно результат был получен путем моделирования в среде MatLab/Simulink, что свидетельствует об адекватности модели. В связи с этим обстоятельством появилась необходимость определить возможные мероприятия, реализация которых обеспечит уровень напряжения в конце шинопровода, достаточный для работы крана LIEBHERR при одновременной работе на причале 4-х кранов «Сокол». Поэтапно рассматривались варианты решений, анализ эффективности которых проверялся путем моделирования.

1. Установка на кране LIEBHERR конденсаторных батарей 2х210 квар, по одной на каждый двигатель, для исключения передачи реактивной мощности, потребляемой двигателями гидронасосов, по шинопроводу. В этом случае обеспечивается работа одного крана LIEBHERR даже при напряжении холостого хода $U_{xx}=400$ В, но напряжение на кране при номинальной нагрузке опускается до 330 В, что вблизи уровня срабатывания защиты минимального напряжения.

2. Прокладка шунтирующей перемычки параллельно шинопроводу от его начала до конца в виде 6-ти алюминиевых кабелей сечением $3 \times 185 + 1 \times 150$ мм². В этом случае обеспечивается напряжение при номинальной нагрузке на уровне требований стандарта [1]. Моделирование позволило ответить на вопрос, могут ли работать даже с наложением режимов подъема номинального груза все 4 крана «Сокол», сосредоточенные в средней части шинопровода, при условии, что напряжение на кране LIEBHERR, работающем с номинальной нагрузкой, не будет опускаться до уровня, приближающегося к уставке минимального напряжения. При подъеме номинального груза каждый кран потребляет из сети активную мощность, равную 220 кВт. Ответ оказался положительным: напряжение на кране LIEBHERR будет поддерживаться на уровне 360 В.

Таким образом, шунтирование шинопровода кабельными перемычками позволяет существенно повысить пропускную способность крановой сети причала. Учитывая нерациональное использование шинопровода, целесообразно заменить его целиком кабельными перемычками $3 \times 185 + 1 \times 150$ мм², минимальное количество которых, включенных параллельно, не превышает 10 с учетом возможного резервирования и запаса по нагрузочной способности.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 13109-97. Межгосударственный стандарт. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Издание официальное. Киев: Госстандарт Украины, 1999. - 31 с.
2. Беляев В.Л. Повышение энергетической эффективности в морском торговом порту «Южный» / В.Л. Беляев - Эффективність та якість електропостачання промислових підприємств. VI міжнародна науково – технічна конф.: Зб. праць. – Маріуполь, вид-во ПДТУ, 2008, С. 168-171.
3. Радимов С.Н. Экспериментальное определение фактических электрических параметров крановых шинопроводов - информационная основа оптимизации их функционирования / С.Н. Радимов - Вісник Одеського державного морського університету. - Одеса, ОДМУ, 2001, № 7. – С. 161-168.
4. Анастасиев П.И. Электрические сети энергоемких предприятий / П.И. Анастасиев, А.А. Ермилов, М.М. Зеленецкий, Ю.А. Фролов. - М.: Энергия, 1971. - 344 с.