ПРИМЕР ВЫБОРА КОМПОНЕНТОВ И ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ КРМ ДЛЯ КРАНОВОГО ХОЗЯЙСТВА
ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕДПРИЯТИЯ И ТАРИФ НА РМ

Характеристика предприятия (исходные данные для расчета)

В данном примере рассмотрен расчет параметров АКУ, соответствующих электросети одного из российских речных портов, применяющего подвижные подъемные краны (для погрузки/разгрузки судов). Ранее на предприятии осуществлялась местная КРМ двигателей кранов. С тех пор большинство фазных конденсаторов вышло из строя, контакторы морально устарели. С целью определения параметров новой системы КРМ главный энергетик предприятия предоставил схемы подключения кранов к сети предприятия и нижеследующую характеристику кранового хозяйства.

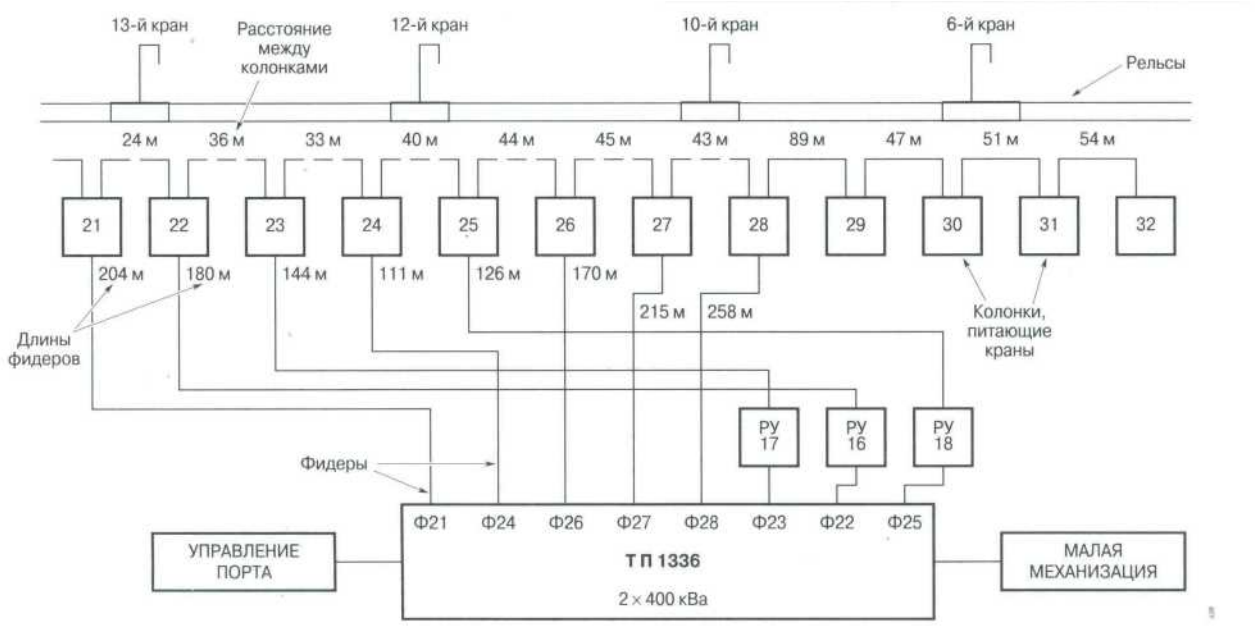


Рис. 2.8. Одна из схем выборочного подключения подъемных кранов к ТП

Примечание (к Рис. 2.8). На практике следует учитывать, что при подобной схеме подключения портовые краны, перемещаясь по рельсам, могут переключаться на питание от соседней ТП (от соседней питающей колонки). (Для данного расчета это обстоятельство представляется несущественным.)

Общее число подъемных кранов (краны типа КБСМ-7-5) – 14.

Средний КМ двигателей одного крана (далее - КМ крана) составляет $\cos \varphi_1 = 0.6$ (с учетом «мелких» нагрузок).

Всего для питания двигателей кранов задействовано четыре ТП. Полная мощность одной из них (ТП 1336), имеющей два понижающих трансформатора (с напряжением вторичной обмотки 380 В), составляем 2 х 400 кВ·А. Мощность трех остальных равна 2 х 320, 1 х 400 и 1х 630 кВ·А соответственно.

АКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ, ПОТРЕБЛЯЕМАЯ КРАНОМ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ОПЕРАЦИЯХ

№	Характер операции (на что расходуется активная мощность)	Расход мощности (кВт)	Примечание
1	Подъем груза	2 х 75	Указан расход мощности соответствующими двигателями
2	Поворот	2 х 19,5	
3	Стрела	15	
4	Переход	4 х 7,5	
5	Управление	4	-
6	Освещение	10	-
Общая (установочная) мощность крана $P_{уст}$		248	

Примечание. Каждый кран может совершать одновременно ряд операций (с учетом расхода на управление и освещение), поэтому необходимо учитывать соответствующую общую (установочную) мощность.

ФИДЕРЫ, ПИТАЮЩИЕ ЧЕТЫРЕ КРАНА ОТ ТП1336

№	№ фидера	Длина фидера (м)
1	Ф-21	204
2	Ф-22	180
3	Ф-23	144
4	Ф-24	111
5	Ф-25	126
6	Ф-26	170
7	Ф-27	215
8	Ф-28	258

Каждый фидер представляем собой четырехпроводный кабель марки АБЛУ, поперечное сечение (алюминиевого) провода - 185 мм^2. Всего для подключения 14 кранов может быть задействовано 32 фидера. Расчетная средняя длина фидера Ac_P равна 213 м.

Мощность, потребленная общей нагрузкой речного порта за последний учетный месяц (сентябрь) составляет: P = 180 000 кВт. Q_1 = 219 000 квар. Энергоснабжающей организацией установлен лимит неоплачиваемой РМ — 96 650 квар.

Параметры, которые необходимо определить

В данном примере определим расходы потребителя по оплате РМ, произведем выбор необходимых параметров КУ для повышения КМ речного порта до величины cos фз = 0.9, укажем увеличение пропускной способности сети потребителя («разгрузку» трансформаторов ТП), а также снижение потерь активной мощности и срок окупаемости КУ.

Тарифы и непосредственная оплата РМ

Так как для предприятия задан лимит неоплачиваемого потребления РМ 96 650 квар, то при потребленной за месяц РМ Q_1 = 219 000 квар и отсутствии КРМ предприятие оплачивает:

ΔQ = (219 000 - 96 650) квар = 122 350 киэр.

Определим сумму, которую можно сэкономить непосредственно на оплате РМ, компенсировав всю «избыточную» РМ. При тарифе по оплате РМ, равном 20 коп./1 квар, предприятие оплачивает:

122 350 квар х 0,20 руб./1 квар = 24 470 руб./мес.

Примечание. Тариф на РМ может несколько варьироваться энергоснабжающими организациями в зависимости от сезона и от года к году.

ОСНОВНОЙ РАСЧЕТ

Варианты реализации системы КРМ

Принципиально КРМ в порту возможно осуществить в двух вариантах:

- местная установка конденсаторов у каждого крана;
- размещение по одной АКУ у каждой ТП.

Преимущества первого варианта (местная КРМ):

- не требуются регулятор РМ и шкаф для размещения компонентов (шкаф КУ);
- снижается реактивный ток в фидерах, соединяющих краны с ТП.

Преимущества второго варианта:

- требуется меньшее число конденсаторов (так как не все краны бывают задействованы одно

временно на полную мощность):

- обеспечивается правильная компенсация РМ нагрузки при любых изменениях мощности нагрузки; исключена перекомпенсация.

Примечание. Как указывалось выше, коммутацию конденсаторов следует осуществлять конденсаторными контакторами. Однако известно, что некоторые электрики с целью экономии средств для коммутации конденсаторов используют пускатели самих двигателей (нагрузки). Необходимо учесть, что такая обманчивая экономия приводит к сокращению срока службы конденсаторов из за обычно весьма больших пусковых токов. Естественно, эксплуатировать фазные конденсаторы в режиме постоянного включения (без коммутации конденсаторами/пускателями) невыгодно по причине значительной перекомпенсации.

В нормативной литературе указывается, что КМ непосредственно на самом кране (КМ каждого крана) должен быть доведен с помощью КРМ до cos $ф_2$ = 0.8. Таким образом, оптимальным решением, обеспечивающим все необходимые требования к системе КРМ, представляется комбинация двух вариантов КРМ:

- местная КРМ конденсаторами cos $ф_2$ = 0.8;
- дальнейшая компенсация (до cos $ф_э$ = 0.9) посредством АКУ, установленных на входе каждой ТП.

Примечание. Указанная комбинированная КРМ является оптимальным решением проблемы с точки зрения электротехнических требований, но не самым дешевым решением. Автор отдает себе отчет в том, что для каждого конкретного предприятия может использоваться свой вариант системы КРМ, учитывающий соответствующие условия работы предприятия. Комбинированный вариант КРМ просто характеризуется более длительным сроком окупаемости системы КРМ. Ну а скупой платит дважды.

Расчет увеличения пропускной способности ТП

Исходя из *P* = 180 000 кВт и Q_1 = 219 000 квар, определим средний за месяц КМ предприятия: tq ф1с$_Р$ = Q_1/*P* = 219 000/180 000 = 1.22, $ф_{1ср}$ = 50.1, cos ф1ср = 0.63.

Активная мощность *P*трi, которую позволяет передать нагрузке i-й трансформатор соответствующей ТП, определяется полной мощностью Sтрi, и КМ: *P*трi – Sтрi . COS $ф_{)ср}$. При cos $ф_{1ор}$ - 0.63:

- Sтр1 = 400 кВ А, $P_{тр1}$ = 252 кВт
- S_{IP2} = 320 кВ-А, $P_{Гр2}$ = 201.б кВт
- $S_{Тр3}$ = 630 кВ-А, $P_{Гр3}$ = 397 кВт

За счет повышения КМ до cos $ф_3$ = 0.9 пропускная способность по мощности i-й Т'П увеличится до величины Δ*P*тп в следующем соотношении:

ТП1 (ТП1336, STП1 = 2 х 40 0кВ-А):

- $Р_{ТР12}$=2ж (400-0.9) кВт = 720 кВт,
- ΔРтп1 = 720 кВт = 2 х 252 кВт = 216 кВт;

ТП2{Sтп2 = 2х320 кВ-А):

- $Р_Т$р22 = 2 х (320-0.9) кВт = 576 кВт,
- ΔРтп2 = 576 кВт -2х201.6 кВт = 172 8 кВт:

ТП3 (Sтп3 - 400 кВ-А):

- $Р_Т$р32 = (400-0.9) кВт = 360 кВт,
- ΔРтп3 = 360 кВт -252 кВт = 108 кВт;

ТП4 (Sтп4 - 630 кВ-А):

- $Р_Т$р42 = (630-0.9) кВт = 567 кВт,
- ΔРтп4 = 567 кВт - 397 кВт = 170 кВт.

Таким образом, повышение КМ до cos ф3 = 0.9 позволяет передать в нагрузку дополнительную суммарную активную мощность, равную

(216 + 172.8 + 108 + 170) кВт =. 667 кВт

Расчет номиналов конденсаторов, устанавливаемых непосредственно у кранов (местная КРМ)

Согласно исходным данным, средний установочная мощность каждого крана Рус- = 238 кВт. Однако следует учесть, что краны эксплуатируются не при постоянной загрузке. Не все краны работают каждый день, поэтому положим коэффициент задействования равным K_3 = 0.7, коэффициент включения крана (не все краны эксплуатируются одновременно) равным ПВ - 0.25. Тогда активная мощность крана:

$P_{КРАН} = P_{УСТ} К3 ПВ$
$P_{КРАН}$ - 238 кВт x 0.5 x 0.7 = 83.3 кВт

Рассчитаем РМ, необходимую для повышении КМ каждого крана порта от величины cos ф1= 0.6 до соз ф2 = 0.8:

Q_C - Ркран (tq ф 1 – tq ф2)
cos ф1 = 0.6, ф1 = arccos (0.6) = 53.1". tg ф1 = 1.33;
cos ф2 = 0.8, ф2 = arccos (0.8) = 25.8". tg ф2 = 0.75;

(tq ф 1 – tq ф2)= 0.58
Q_c = 83.3 кВт x 0.58 = 48.3 квар = 50 квар

Таким образом, если устанавливать по одному фазному конденсатору возле каждого крана, то следует использовать изделия с номиналом РМ 50 квар.

Ранее, в старой местной системе КРМ предприятия использовались фазные конденсаторы номинала 66 квар. Примерно треть этих старых конденсаторов (5 штук, с учетом складских резервов) оказалась пригодной для эксплуатации (со старыми контакторами). Поэтому всего для 14 кранов необходимо добавить девять конденсаторов. Ориентировочная стоимость современных фазного конденсатора и конденсаторного контактора номиналом 50 квар составляет 160 у.е. Таким образом, для модернизации местной системы КРМ необходимо (160 у.е. x 9) x 2 = 2900 у.е.

Расчет АКУ на 1ОО квар

Итак, полагая, что у каждого крана устанавливаются конденсаторы (номиналом 50/66 квар) обеспечивающие cos $ф_2$ = 0.8, рассчитаем РМ каждой АКУ, устанавливаемой у каждой ТП для доведения общего КМ до cos фз - 0.9. На каждую АКУ в среднем приходится по четыре крана общей мощностью $4P_{Кран}$ = 4-83.3 кВт = 333.2 кВт. Необходимая РМ АКУ составляет:

Qc akv = $4P_{Кран}$(tg ф2 – tq ф3) = 90 квар
С учетом запаса по РМ, $Q_{c\ AKV}$ = 100 квар

Расчет снижения активных потерь

Дополнительные потери активной мощности каждого крана за расчетный период (в данном случае за один месяц), обусловленные некомпенсированной РМ, равны $\Delta P_O = k_n r(Q_{Кран})2/U2$, где $Q_{Кран}$ — РМ, приходящаяся в месяц на один кран, *r* - расчетное активное сопротивление фидера с учетом его средней длины.

При повышении КМ до cos $ф2_{ср}$ = 0.8 (tq $ф2_{Ср}$ = 0.75):

Qo.8 = P(tg $Ф1_{СР}$ – tg ф2ср) = 180 000 (1.22 - 0.75) квар = 84 600 квар

РМ соединенных параллельно нагрузок складывается, поэтому приближенно можно считать:

Qкран 0.8 = Q0.8/14 = 84 600 квар/14 = 6 043 квар

Так как проводимость алюминия равна Y_{A1} = 32 мм$^{-1}$ мОм$^{-1}$, то активное сопротивление каждого провода (одной жилы) составляет.

r1 = Лср/(SYAI) = 213 м/(185 мм^2 32 мм мм$^{-1}$ мОм$^{-1}$) = 213м/(185-10-6м^2-32'103м-'-1 x 103 Ом ') -213м/(185м$^?$-32м ' Ом ') = 0.036 Ом

С учетом трех жил фидера, *г* – 3r - 0.1 Ом. Однако рассчитанная таким образом величина определяет только порядок активного сопротивления самого фидера. Для правильной оценки эффективного сопротивления следует также учесть, что большинство фидеров подключено посредством небольших «воздушек». Поэтому эффективное сопротивление проводов, питающих краны следует оценить соответствующим коэффициентом *kr*. Положим *kr* = 5 (это довольно грубая оценка, но как можно будет заметить, активные потери в рассматриваемом случае все равно не являются определяющим фактором). Тогда получим, что полная компенсация РМ одного крана позволяет снизить активные потери на величину ΔP_O = 5-0.1 Ом-(6043 квар/380 В)2 = 250 кВт. а дли 14 кранов - на 250 x 14 кВ = 3500 кВт. При тарифе 1 руб/1кВт (относительно невысокий тариф) соответствующая экономия составляет 3500 руб./мес.

Примечание. Нередко на практике расчетную величину снижения активных потерь в фидере уточняют на основе показаний активного счетчика электроэнергии (так как точно априорно оценить потери в фидере порой

не представляется возможным). Кроме того, для рассматриваемого предприятия не были учтены потери активной мощности в фидере, соединяющем ТП с головкой ТП энергоснабжающей организации.

Подведение итогов

Экономия

На непосредственной оплате РМ: 24 470 руб/мес

На снижении активных потерь: 3 500 руб/мес

Общая экономии: 27 970 руб/мес

Затраты

На местную КРМ: 2 900 у.е.

На четыре АКУ (по 100 квар): 4 х 1200 у.е. = 4 800 у.е.

При 1 у.е. = 35 руб.

Срок окупаемости

Местной системы КРМ: 101 500 руб./27970 руб /мес) = 3,5 мес.

Комбинированной системы (местная КРМ + четыре 100-кварных АКУ): (101 500 руб. + 168 000 руб.)(27 970 руб/мес) = 9,5 мес.