

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Р. А. Кудряшов, О. М. Кудряшова

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В НЕФТЕГАЗОДОБЫЧЕ

*Учебное пособие для обучающихся по направлению
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
профиль Электроснабжение*

Тюмень
ТИУ
2016

УДК 621.313.(075.8)
ББК 31.261
К 88

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор Ю. К. Шлык
кандидат технических наук, доцент М. К. Велиев

Ответственный редактор:

кандидат технических наук, доцент А. Л. Портнягин

Кудряшов Р. А. Расчет электрических нагрузок в нефтегазодо-
К 88 быче [Текст]: учебное пособие / Р. А. Кудряшов, О. М. Кудряшова. –
Тюмень: ТИУ, 2016. – 96 с.
ISBN 978-5-9961-1364-4

В учебном пособии описываются основные теоретические сведения по определению электрических нагрузок, приведены показатели работ технологических установок нефтяной и газовой промышленности, использующиеся при расчете электрических нагрузок. Приведены примеры расчетов, представлены варианты выполнения лабораторных работ.

Учебное пособие предназначено для обучающихся по направлению 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, профиль Электроснабжение

УДК 621.313.(075.8)
ББК 31.261

ISBN 978-5-9961-1364-4

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Тюменский индустриальный
университет», 2016

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность прогнозирования электрических нагрузок при проектировании перспективных расчетных сценариев в электроснабжении

«Вступление России в постиндустриальное общество в условиях глобализации экономики лишь обостряет проблемы электроснабжения промышленных предприятий и городов, инфраструктуры и сельского хозяйства, сферы услуг и быта. Решение видится, с одной стороны, в разработке перспектив развития электроэнергетики на основе стратегии, разрабатываемой на долгосрочную перспективу; с другой стороны, в рационализации электропотребления при качественном и надежном электроснабжении любого и каждого потребителя в требуемом ему объеме и необходимой мощности, - считает Б.И.Кудрин, профессор, один из ведущих ученых в области электроснабжения, теоретик и практик, автор широко известного и применяемого комплексного метода расчета электрических нагрузок, автор ряда учебных вузовских изданий и пр. – Углубление электрификации отраслей экономики объективно для всех стран и сохраняется в XXI веке. Валовой внутренний продукт и комфортность жизни корреляционно определяются электропотреблением, производительность труда в промышленности – электровооруженностью. Рациональное потребление электроэнергии на душу населения актуально для России, где уровень отдельных и общих расходов высок практически на все виды выпускаемой продукции. Энергоемкость национального дохода в 2 -4 раза выше, чем в развитых странах, у которых за последние 25 лет энергоемкость уменьшилась на 20...30 %. В России с 1990 г. энергоемкость продолжала возрастать, в 2005 г. оставалась в 1,5 раза выше общемировой. К 2030 г. ожидается, что она снизится вдвое. Эффективность использования электроэнергии – важнейшая часть обеспечения энергетической безопасности страны. «Энергетической стратегией России на период до 2030 г.» предусмотрено значительное увеличение потребления электроэнергии. Электрики-потребители, решая проблемы систем электроснабжения, должны исходить из ряда объективных факторов, на которых будет основана государственная политика энергосбережения. Стратегическая задача развития электроэнергетики Российской Федерации до 2030 г. и на перспективу до 2050 г.– не разработка плана развития экономики на базе электрификации, как это было в 1920 г., а рассмотрение расчетных сценариев, включающих в себя формирование стратегического видения, описание ключевых инвестиционных проектов, внедрение системы долгосрочного прогнозирования» [2]

1. ПОНЯТИЕ И ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В НЕФТЕГАЗАДОБЫЧЕ

Расчет электрических нагрузок является первым и основополагающим при проектировании электроснабжения. В соответствии с этим расчетом решаются вопросы режимов функционирования проектируемой системы электроснабжения, оценивается величина капитальных вложений в строительство электрической сети, производится выбор элементов сети электроснабжения, оценивается надежность и экономичность работы электрических сетей и систем в процессе эксплуатации.

От точности расчета электрических нагрузок зависит оптимальная работа системы электроснабжения, соотношение между рабочими - резервными элементами, экономические характеристики системы в процессе работы, эффективность капитальных вложений.

Вопросы определения электрических нагрузок не являются простыми. В то же время любой энергетик, электрик вплоть до электромонтера считает себя большим специалистом в этом вопросе. Возможно, это обусловлено тем, что вопросы определения электрических нагрузок изучаются в самом начале курсов связанных с электроэнергетикой и электроснабжением промышленных предприятий", а, может быть, и тем, что в учебной литературе этот вопрос отработан до уровня инженерных методик, которые предлагаются студентам без исходной информации, теории и каких-либо альтернатив. Во всяком случае, мы считаем, что в России найдется не более сотни действительно специалистов в области электрических нагрузок (научных работников, проектировщиков), которые способны с достаточным обоснованием выбрать соответствующий метод (на сегодня этих методов не менее сотни), и, главное, оценить полученный результат с точки зрения возможностей и внутренне присущих недостатков этих методов. О том, что это действительно так, говорит тот факт, что при эксплуатации электрические нагрузки, в основном, оказываются на 20 - 200% ниже по сравнению с проектными (данные проф. Б. И. Кудрина по металлургическим заводам). В последнее время наблюдаются и случаи существенного занижения нагрузок на стадии проектирования, особенно в периоды, следующие за годами экономической нестабильности.

В условиях нефтяной и газовой промышленности Западной Сибири отмечается среднее завышение проектных нагрузок по сравнению с фактическими иногда до 50%. В связи с этим могут быть завышены трансформаторные мощности и сечения линий электропередачи, в то же время отмечаются отдельные случаи занижения мощностей подстанций, особенно напряжением 6 или 10 кВ. На неточность определения электрических нагрузок помимо чисто методических причин влияют также

общеекономические причины - резкое снижение (или, наоборот, значительный рост) объемов производства, неподтверждение заявленных запасов углеводородного сырья (тоже как в сторону занижения, так и завышения), изменившиеся горно-геологические условия добычи, наконец, колебания мировых цен на энергоносители и т.п. Однако, примерно половина погрешности определения нагрузок приходится на методический фактор расчетов. В связи с этим, требуется серьезное внимание к методическим основам расчетов нагрузок, рассмотрение различных подходов к расчетам нагрузок, использование положительного опыта исследования и проектирования электрических систем и сетей.

Обобщенная характеристика технологических процессов, единичная мощность агрегатов и доля в потреблении мощности для различных технологических установок в добыче нефти представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика технологических процессов добычи нефти
с точки зрения потребляемой мощности

Название технологического процесса	Тип и мощность электропривода	Доля в общем электропотреблении, %	Название и нагрузка объекта
Насосная добыча жидкости	Асинхронный, 17,...,500 кВт	35	Куст нефтяных скважин, 0,1,...,5,0 МВт
Поддержание пластового давления	Синхронный, 630,...,6300 кВт Асинхронный 630,...,4000 кВт	28	Кустовая насосная станция, 2,..., 20 МВт
Внутрипромысловый сбор и транспорт нефти	Асинхронный, 55,...,800 кВт	10	Дожимная насосная станция, 0,1,...,5МВт
Подготовка нефти	То же	5	Установка подготовки нефти, 0,1,...,3 МВт
Внешний транспорт нефти до пунктов сдачи	Синхронный, 630,...,1600 кВт Асинхронный 630,...,800 кВт	10	Центральный пункт сбора нефти, 2,...,10 МВт
Подъем и подача воды	Асинхронный, до 630 кВт	4	Водозабор, 0,2,...,4 МВт; водоподъем, 0,8,...,5 МВт
Бурение	Синхронный (насосы, лебедка); асинхронный (лебедка, вспомогательные механизмы)	2	Буровая установка, 1,...,5 МВт

Прочие	Асинхронный раз- ной мощности	До 6	Компрессорная станция низких ступеней (до 3 МВт), промзоны, вахто- вые поселки и пр. (до 2 МВт), электрообогрев трубопроводов и обору- дования (до 5 МВт)
--------	----------------------------------	------	---

2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1 Графики электрических нагрузок

Процессы изменения активной P и реактивной Q мощности или тока электроприемников (ЭП) относятся к физическим явлениям, которые описываются функциями, имеющими в качестве аргумента время. В общем случае график электрической нагрузки представляет из себя функциональную зависимость $I = f(t)$, где I - ток нагрузки, t - время. В теории электрических нагрузок для упрощения исследований применяют графики нагрузок по активной и реактивной мощностям $P = f(t)$ и $Q = f(t)$, где P, Q - соответственно активная и реактивная мощности нагрузки. При необходимости нагрузка по полной мощности находится в виде $S = P + jQ$, а по этой нагрузке можно легко найти и токовую нагрузку $I(t)$.

В дальнейшем показатели нагрузок в данной работе определяются отдельно по активной и реактивной мощностям.

Графиком электрических нагрузок называется временная последовательность тока, мощности или ее активной и реактивной составляющей, осредненной за определенный интервал времени.

Типы графиков:

- периодический;
- почти периодический;
- регулярный;
- однородный;
- нерегулярный;
- непериодический и нерегулярный.

Типичным примером периодического графика является график электрических нагрузок поточного автоматизированного производства или конвейерного производства. Примером почти периодического графика является график электрических нагрузок мартеновского цеха, цеха дуговых сталеплавильных печей, буровых установок с электроприводом.

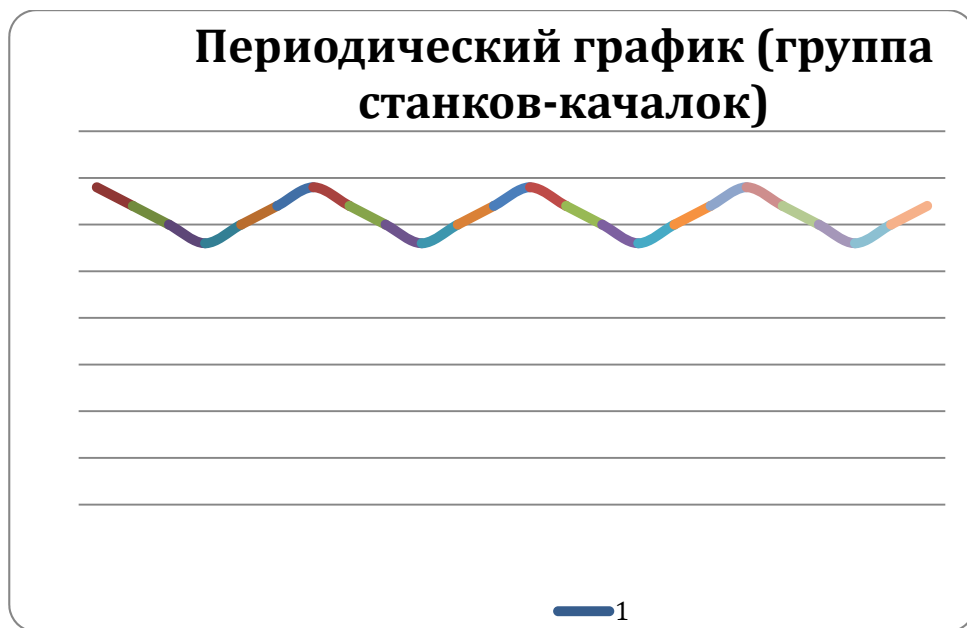


Рис.1 Пример периодического графика электрических нагрузок в нефтегазодобыче

Регулярным графиком можно назвать любой график электрических нагрузок, для которого соблюдается обобщенная периодичность - стабильность общего расхода электроэнергии за достаточно большой промежуток времени - например, для нефтяного или газового промысла, непоточного автоматизированного производства или большой группы однотипных высоковольтных установок, работающих в продолжительном режиме.

На рис.1 и рис.2 приведены графики электрических нагрузок основных потребителей электроэнергии в нефтегазодобыче.

Примером однородного графика электрических нагрузок является график электрических нагрузок насосной или компрессорной станции в наиболее загруженные сутки или смену (рис.3). Такой график не имеет значительных колебаний и ярко выраженных ступенчатых переходов от одной нагрузки к другой.

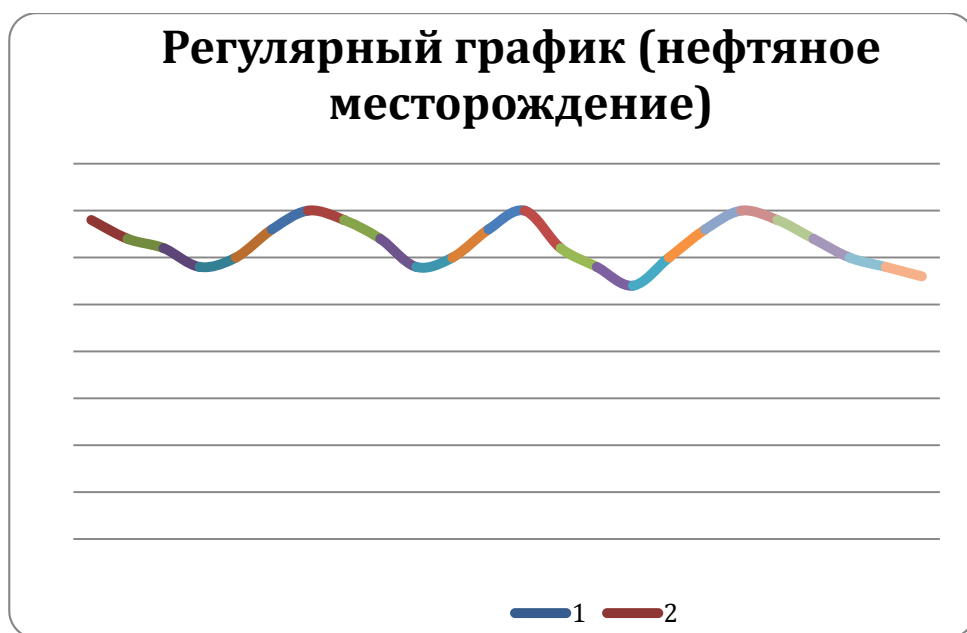


Рис.2 Пример регулярного графика электрических нагрузок в нефтегазодобыче

Нерегулярный график электрических нагрузок (рис. 4) может не удовлетворять условию стабильности расхода электроэнергии за определенный интервал времени.

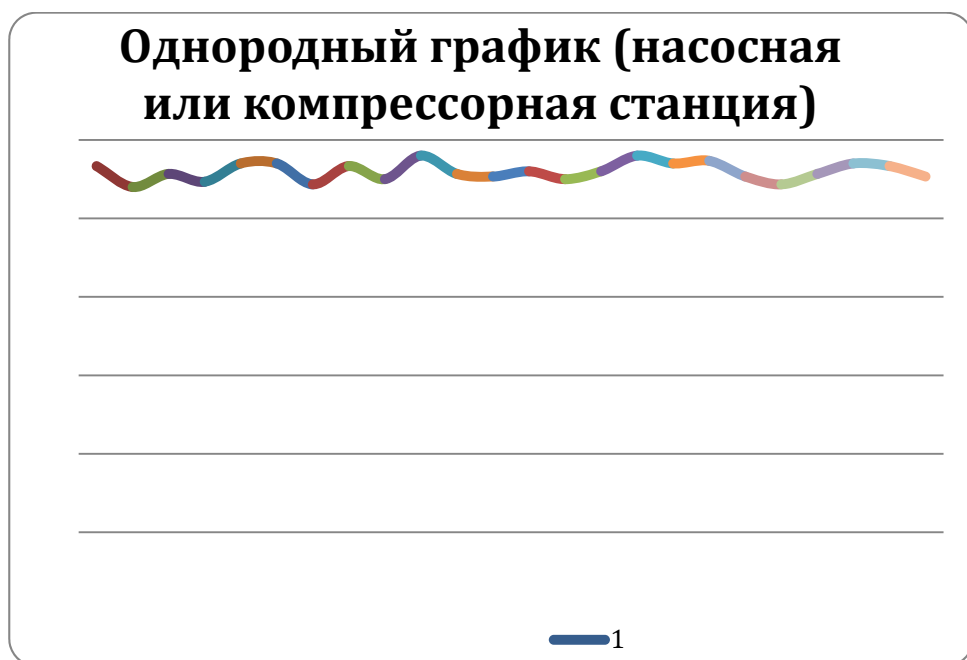


Рис.3 Пример однородного графика электрических нагрузок в нефтегазодобыче



Рис.4. Пример нерегулярного графика электрических нагрузок в нефтегазодобыче

Однако для него в принципе могут быть определены показатели за некоторый период времени, сохраняющие свою стабильность. Примером такого графика является график электрических нагрузок отдельной буровой установки, проходящей в соответствии с технологическим процессом проводки скважин режимы бурения, спуска и подъема инструмента.

Ряд технологических установок имеют непериодические и нерегулярные графики. К таким сложным графикам относятся графики электрических нагрузок земснарядов для гидронамыва сооружений, графики строительных и монтажных работ.

2.2 Основные показатели электрических нагрузок

Основные показатели электрических нагрузок определяются для отдельных электроприемников – индивидуальные и обозначаются строчными буквами (i , p , q , s и т.д.). Для групповых показателей нагрузок принято обозначение прописными буквами (P , Q , S , I и т.п.).

При расчете электрических нагрузок следует знать:

- **средние электрические нагрузки** (P_c , Q_c , S_c , I_c) - для расчетов электропотребления и нормирования затрат электроэнергии;
- **среднеквадратичные (эффективные) нагрузки** ($P_{ск}$, $Q_{ск}$, $S_{ск}$, $I_{ск}$)- для расчетов потерь электроэнергии в сетях и элементах электрической системы;

- **максимальные (расчетные) электрические нагрузки** (P_m, Q_m, S_m, I_m или P_p, Q_p, S_p, I_p) за переменное время осреднения (например, 30 мин.) - для заявления максимальных нагрузок в энергосистему, выбора сечений проводов и кабелей, выбора мощности трансформаторных подстанций.

Первой оценкой электрической нагрузки и ее максимально возможного значения является **номинальная нагрузка** (P_n, Q_n, S_n, I_n), при этом номинальная нагрузка индивидуального электроприемника определяется по данным каталогов, справочников или может указываться на щитке двигателя или другого приемника, групповая номинальная нагрузка по мощности определяется арифметическим суммированием номинальных мощностей отдельных приемников - для активной мощности, алгебраическим суммированием - для реактивной мощности и суммированием комплексных чисел для токовых нагрузок или нагрузок по полной мощности.

Термин "номинальная нагрузка" (мощность, ток) является единственным правильным названием для нагрузки этого типа. В настоящее время термины, ранее широко использовавшиеся в практике проектирования электроснабжения - "установленная мощность" или "присоединенная мощность", - считаются анахронизмом и, согласно последним нормативным документам по проектированию электроснабжения, запрещены к применению.

2.3 Основные коэффициенты графиков электрических нагрузок

Все коэффициенты графиков электрических нагрузок подразделяются на индивидуальные и групповые. Индивидуальные записываются строчными буквами ($k_v, k_z, k_u, \dots, l_z, l_u, \dots$) и характеризуют нагрузочный режим отдельного электроприемника, групповые определяются для группы электроприемников и обозначаются заглавными буквами ($K_v, K_z, K_u, \dots, L_z, L_u$). Буквами k и K обозначаются коэффициенты по активной мощности, буквами l и L – по реактивной. Иногда определяются некоторые групповые коэффициенты по полной мощности (или по току), например, использования, тогда он обозначается G_i , однако, такие показатели используются редко, только при определении использования полной мощности силовых трансформаторов, которая как известно задается в кВА, то есть в единицах полной мощности.

1. **Коэффициент включения** характеризует относительное время включения в работе электроприемников в наиболее загруженную смену.

Индивидуальный:

$$k_v = (t_v / (t_v + t_n)),$$

где t_v – время нахождения электроприемника в работе, ч., t_n – время паузы, ч.

Групповой:

$$K_6 = (\sum k_{vi} \cdot p_{ni}) / (\sum p_{ni}),$$

где p_{ni} – номинальная мощность i -го электроприемника, кВт.

Коэффициенты включения одинаковы как для активной так и для реактивной мощности.

Остальные **групповые коэффициенты определяются аналогично**, и в дальнейшем все определения будут даваться только для индивидуальных коэффициентов.

2. Коэффициент загрузки характеризует долю загрузки электроприемника по отношению к номинальной мощности.

$$k_z = p_{св} / p_n,$$

где $p_{св}$ - средняя мощность за время включения, кВт, p_n - номинальная мощность, кВт;

$$l_z = q_{св} / q_n,$$

где $q_{св}$ – средняя реактивная мощность за время включения, q_n – номинальная реактивная мощность, для асинхронных двигателей

$$q_n = p_n \cdot \operatorname{tg} \varphi_n / \eta_n,$$

где $\operatorname{tg} \varphi_n$ – номинальный коэффициент реактивной мощности, η_n – номинальный КПД двигателя.

3. Коэффициент использования характеризует долю использования электроприемника по времени и по загрузке по отношению к номинальной мощности

$$k_u = k_6 \cdot k_z,$$

$$l_u = l_6 \cdot l_z$$

4. Коэффициент формы графика нагрузки характеризует неравномерность графика нагрузки. Как правило, определяется только групповой коэффициент формы.

$$K_\phi = P_{ск} / P_n,$$

где $P_{ск}$ - среднеквадратичная нагрузка группы электроприемников, кВт, P_n – номинальная мощность группы электроприемников, кВт.

$$L_\phi = Q_{ск} / Q_n,$$

где $Q_{ск}$ - среднеквадратичная нагрузка группы электроприемников по реактивной мощности, квар; Q_n – номинальная реактивная мощность группы электроприемников, квар.

5. Коэффициент максимума характеризует превышение расчетных нагрузок над средними, как и коэффициент формы (и также коэффициент спроса) определяется только для группы потребителей.

$$K_M = P_p / P_c;$$

$$L_M = Q_p / Q_c,$$

где P_p , Q_p – расчетные нагрузки, кВт, квар, P_c , Q_c – средние нагрузки, кВт, квар.

Значение K_M определяется по **кривым** в зависимости от значения группового коэффициента использования за наиболее загруженную смену K_u и от **эффективного (приведенного, среднеквадратичного) числа электроприемников** в группе

$$n_{ск} = \underline{n_2}$$

Под $\underline{n_2}$ понимается такое число однородных по режиму работы электроприемников одинаковой мощности, которое обуславливает то же значение расчетного максимума, что и группа различных по мощности и режиму работы электроприемников.

Точное определение n_2 производится по формуле (для активной мощности)

$$n_{СКР} = \frac{(\sum_{i=1}^n P_i)^2}{\sum_{i=1}^n P_i^2},$$

6. Коэффициент спроса – вспомогательный коэффициент, связывающий расчетную нагрузку с номинальной мощностью. Расчетным коэффициентом спроса по активной мощности называется отношение расчетной активной мощности P_p (получасового максимума) к номинальной мощности группы

$$K_c = P_p / P_n = P_M / P_n = K_u * K_M;$$

Коэффициент спроса принимается по различным справочным материалам или же определяется в зависимости от коэффициента использования K_u , а также от коэффициента включения K_v .

$$L_c = L_p / L_n$$

2.4 Методы определения электрических нагрузок

В настоящее время при проектировании электроснабжения промышленных предприятий применяется довольно много различных методов определения электрических нагрузок. Их можно подразделить на три основные группы:

1. Методы, определяющие расчетную нагрузку путем умножения номинальной мощности на коэффициент, меньший единицы

$$P_M = k * P_c,$$

где P_M - расчетная нагрузка, кВт; k - коэффициент, меньший единицы.

2. Методы, определяющие расчетную нагрузку путем умножения средней нагрузки на коэффициент, больший или равный единице, или путем добавления к средней нагрузке некоторой величины, характеризующей отклонение расчетной нагрузки от средней

$$P_M = k * P_c; \quad (2.2)$$

$$P_M = P_c + dP, \quad (2.3)$$

где P_c - средняя нагрузка (математическое ожидание), кВт;

k - коэффициент, больший или равный единице;

dP - расчетное отклонение максимальной (расчетной) нагрузки от средней, кВт.

3. Методы определения электрической нагрузки по удельным показателям производства

$$P_M = k * G, \quad (2.4)$$

где G - объем производства продукции, ед. продукции;

k - коэффициент, связывающий объем производства продукции с расчетной нагрузкой, кВт/(ед. продукции).

3. В последнее время широко применяется **комплексный метод**, определяющей нагрузку по методам первой, второй и третьей групп.

Основным методом первой группы является **метод коэффициента спроса**.

Согласно методу **коэффициента спроса** расчетные электрические нагрузки определяются:

$$P_M = K_c * P_c = \text{Const} * P_c$$

При этом величину коэффициента спроса принимают постоянной, не зависящей от числа ЭП в группе. Несмотря на значительную погрешность в расчетах нагрузок данный метод на практике применяется благодаря своей простоте и наглядности, и в некоторых случаях дает вполне приемлемые результаты. Так, при достаточно высоких коэффициентах использования $K_{\text{и}}$ и при большом числе эффективных ЭП $n_{\text{ск}}$ (в литературе может обозначаться еще и $n_{\text{э}}$) этот метод может быть использован для определения электрических нагрузок насосных и компрессорных установок нефтяной и газовой промышленности. Значительную погрешность дает этот метод при неоднородных графиках нагрузки, большом разбросе индивидуальных коэффициентов использования и малом $n_{\text{ск}}$ (от 4 до 10). В этих случаях необходимо использовать методы второй группы.

Основными методами второй группы являются **методы упорядоченных диаграмм и статистический**. В качестве основных положений эти методы используют вероятностные принципы формирования групповой электрической нагрузки. Метод упорядоченных диаграмм рекомендовался в свое время для всех промышленных ЭП массового типа. Исследования последних лет показали, что применение этого метода ограничено группами разнородных ЭП напряжением до 1000 В, лишь в некоторых случаях он может применяться и для высоковольтных ЭП, если их суммарная номинальная мощность сравнима по величине со всеми остальными приемниками цеха или предприятия.

2.5 Порядок определения расчетной электрической нагрузки по методу упорядоченных диаграмм

2.5.1 Рассчитывается групповой коэффициент использования по активной мощности

$$K_u = \frac{\sum_{i=1}^n k_{ui} \cdot p_i}{\sum_{i=1}^n p_i} = \frac{\sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot k_{zi} \cdot p_i}{\sum_{i=1}^n p_i},$$

где k_{ui} - индивидуальный коэффициент использования i -го электроприемника;

k_{Bi} - индивидуальный коэффициент включения i -го электроприемника;

k_{zi} - индивидуальный коэффициент загрузки i -го электроприемника;

p_i - номинальная мощность i -го электроприемника.

2.5.2 Определяется эффективное (среднеквадратичное) число ЭП группы по активной мощности

$$n_{CKP} = \frac{(\sum_{i=1}^n P_i)^2}{\sum_{i=1}^n P_i^2}, \text{ шт}$$

2.5.3 По кривым $K_m = f(n_{CKP})$ при заданном K_u и n_{CKP} находится значение группового коэффициента максимума K_m (см. рис.5).

Необходимо заметить, что кривые разработаны для значений $4 < n_э < 19$. При числе $n_э < 19$ следует пользоваться данными таблиц 2 и 3.

2.5.4. Расчетная *активная* нагрузка группы определяется формулой
 $P_p = K_u * K_m * P_n, \text{ кВт}$

Расчет реактивной нагрузки может вестись *двумя способами*.

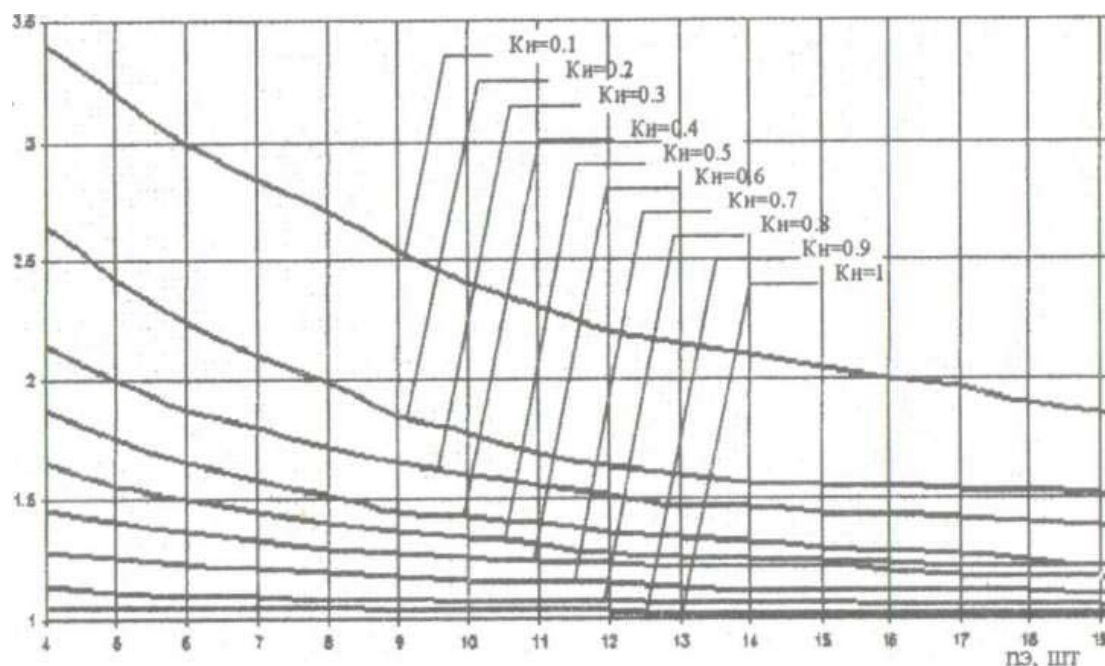


Рис.5. Зависимость коэффициента максимума нагрузки от эффективного числа электроприемников $pЭ$ при различных значениях коэффициента использования $K_{и}$ (по данным "Указаний по определению электрических нагрузок в промышленных установках")

Таблица 2
Зависимость K_m от $K_{и}$ и $pЭ$ (сокращенная таблица Временных руководящих указаний)

$K_{и}/N_{ск}$	4	5	6	7	8	9	10	15	20	50	100
0,4	1,84	1,77	1,71	1,63	1,54	1,48	1,43	1,27	1,16	1,11	1,08
0,5	1,87	1,62	1,53	1,47	1,39	1,33	1,27	1,2	1,14	1,09	1,07
0,6	1,49	1,45	1,42	1,39	1,37	1,32	1,31	1,18	1,12	1,07	1,06
0,7	1,32	1,3	1,28	1,26	1,25	1,24	1,23	1,18	1,16	1,06	1,05
0,8	1,21	1,19	1,18	1,17	1,16	1,15	1,14	1,11	1,09	1,05	1,04
0,9	1,11	1,1	1,09	1,08	1,07	1,06	1,05	1,03	1,02	1,02	1,01

Первый из них требует знания $\cos \varphi_{св}$ - средневзвешенного коэффициента мощности и $\cos \varphi_m$ - коэффициента мощности в период максимальных нагрузок. Тогда для группы ЭП с индуктивным $\cos \varphi$ средняя и расчетная нагрузки по реактивной мощности определяются по формулам:

$$Q_c = P_c * \operatorname{tg} \varphi_{сф}, \text{ квар,}$$

$$Q_m = Q_c * \operatorname{tg} \varphi_m, \text{ квар,}$$

где $\operatorname{tg} \varphi_{св}$ и $\operatorname{tg} \varphi_m$ находятся по арккосинусам углов $\varphi_{св}$ и φ_m .

Зависимость Км от Ки и пэ (сокращенная таблица Указаний
РД 39-0147323-803-89-Р)

Ки/Нск	4	5	6	7	8	9	10	15	20	50	100
0,4	1,49	1,45	1,42	1,39	1,37	1,35	1,33	1,2	1,14	1,11	1,08
0,5	1,34	1,32	1,3	1,28	1,27	1,26	1,25	1,14	1,11	1,05	1,04
0,6	1,24	1,22	1,21	1,2	1,19	1,18	1,16	1,1	1,08	1,04	1,03
0,7	1,19	1,18	1,17	1,16	1,15	1,14	1,13	1,09	1,07	1,03	1,02
0,8	1,15	1,14	1,13	1,12	1,11	1,1	1,09	1,07	1,05	1,03	1,01
0,9	1,05	1,04	1,02	1,01	1,01	1,01	1,01	1	1	1	1

Второй метод расчета не требует знания двух коэффициентов мощности, однако, должны быть заданы показатели графика реактивных нагрузок. Алгоритм этого метода расчета следующий:

1. Рассчитывается групповой коэффициент использования

$$L_u = \frac{\sum_{i=1}^n l_{ui} \cdot q_i}{\sum_{i=1}^n q_i} = \frac{\sum_{i=1}^n l_{Bi} \cdot l_{zi} \cdot q_i}{\sum_{i=1}^n q_i}, \text{ отн.ед.},$$

где l_{ui} - индивидуальный коэффициент использования i -го ЭП по реактивной мощности;

$l_{Bi}=k_{Bi}$ - индивидуальный коэффициент включения i -го ЭП;

l_{zi} - индивидуальный коэффициент загрузки i -го ЭП по реактивной мощности;

q_i - номинальная реактивная мощность i -го ЭП, определяемая формулой

$$q_i = \frac{p_i \cdot \tan \varphi}{\eta_i}, \text{ квар}$$

2. Определяется эффективное (среднеквадратичное) число ЭП группы по реактивной мощности

$$n_{CKq} = \frac{(\sum_{i=1}^n q_i)^2}{\sum_{i=1}^n q_i^2}, \text{ шт}$$

С достаточной точностью обычно принимается $n_{CKp}=n_{CKq}$, шт.

3. По кривым $L_M = f(n_c K < I)$ при рассчитанном L_u находится значение группового коэффициента максимума L_M (рис.5).

4. Расчетная нагрузка по реактивной мощности находится

$$Q_M = L_U * L_M * Q_U, \text{ квар}$$

Если в составе группы имеются ЭП с опережающим током (синхронные двигатели, конденсаторы и т.п.), их реактивная мощность принимается равной постоянной величине, определяемой из расчета потребной реактивной мощности. Если нет других данных, то ее можно принять равной номинальной реактивной мощности, она вычитается из реактивной мощности остальных ЭП, как из Q_c так и из Q_m .

Исследованиями установлено, что применение метода упорядоченных диаграмм ограничено напряжением 1000 В, причем группы ЭП должны быть достаточно однородными по составу. Как правило, этот метод применяется для расчетов нагрузок отдельных трансформаторных подстанций и линий, питающих определенный технологический процесс.

2.6 Порядок расчета электрических нагрузок по статистическому методу

Расчетная нагрузка по статистическому методу определяется:

$$P_m = P_c + \beta \sigma, \text{ кВт},$$

где P_c - средняя нагрузка, определяемая по методу упорядоченных диаграмм; β - принятая кратность уклонения исходя из необходимой достоверности результата, σ - среднеквадратическое отклонение графика нагрузок, характеризующее рассеяние нагрузок относительно среднего значения.

Для нормального закона распределения и вероятности не превышения расчетной нагрузкой максимально возможной 0.995 величина β принимается равной трем согласно критерия "трех сигм". Для вероятности равной 0.95, соответствующей принятой точности определения электрических нагрузок 5% - $\beta = 2.5$, при вероятности 0.9, соответствующей принятой точности определения электрических нагрузок 10% - $\beta = 1.73$.

Для расчетов по статистическому методу величину α рекомендуется принимать по коэффициенту формы графика $K\phi$, который может быть задан заранее или рассчитан методом среднеквадратичной (эффективной) нагрузки. Для групп однородных ЭП напряжением ниже 1000 В величину

коэффициента формы графика можно не вычислять, а воспользоваться упрощенным способом расчета по статистическому методу. Для этого используется приближенная формула, связывающая коэффициент максимума и коэффициент использования

$$K_M = 1 + \frac{0.5 - 0.4 \cdot K_u}{K_u \cdot \sqrt{n_{CKP}}}, \text{от.н. ед.}$$

При этом величина n_{CKP} определяется точно так же, как и по методу упорядоченных диаграмм.

Средняя и расчетная нагрузка определяются так же, как и по методу упорядоченных диаграмм

$$P_c = K_u \cdot P_n, \text{ кВт,}$$

$$P_M = K_M \cdot P_c, \text{ кВт}$$

Реактивные нагрузки определяются аналогично по формулам, приведенным выше для расчета активных нагрузок/

Нагрузки, рассчитанные по статистическому методу, получаются несколько ниже, чем по методу упорядоченных диаграмм. Это связано с большими запасами, заложенными в кривые рис.5. Для нефтепромысловых ЭП и электроустановок газовой промышленности, которые более однородны и регулярны, чем общепромышленные ЭП, разработаны кривые $K_M = f(n_{CKP})$ при $K = Const$, отличающиеся от кривых рис.5. Эти зависимости представлены на рис.6 и рекомендуются:

- для глубинно-насосных установок;
- для низковольтных установок технологических площадок нефтяных и газовых промыслов;
- для установок вспомогательного производства (котельные, механические мастерские, ремонтные цеха, цеха автоматики и т.п.) на нефтяных и газовых месторождениях.

Статистический метод в рассмотренном виде также рекомендуется только для низковольтных установок при достаточно однородном составе выделенных групп.

Общим правилом при использовании метода упорядоченных диаграмм и статистического метода является: расчетная нагрузка принимается равной сумме номинальных мощностей электроприемников при n_{CK} менее четырех.

Разновидностью статистического метода является метод вероятностного моделирования графика нагрузки. При этом расчетная нагрузка определяется параметрами самого группового графика нагрузки, а не зависимостью расчетной нагрузки от числа эффективных ЭП.

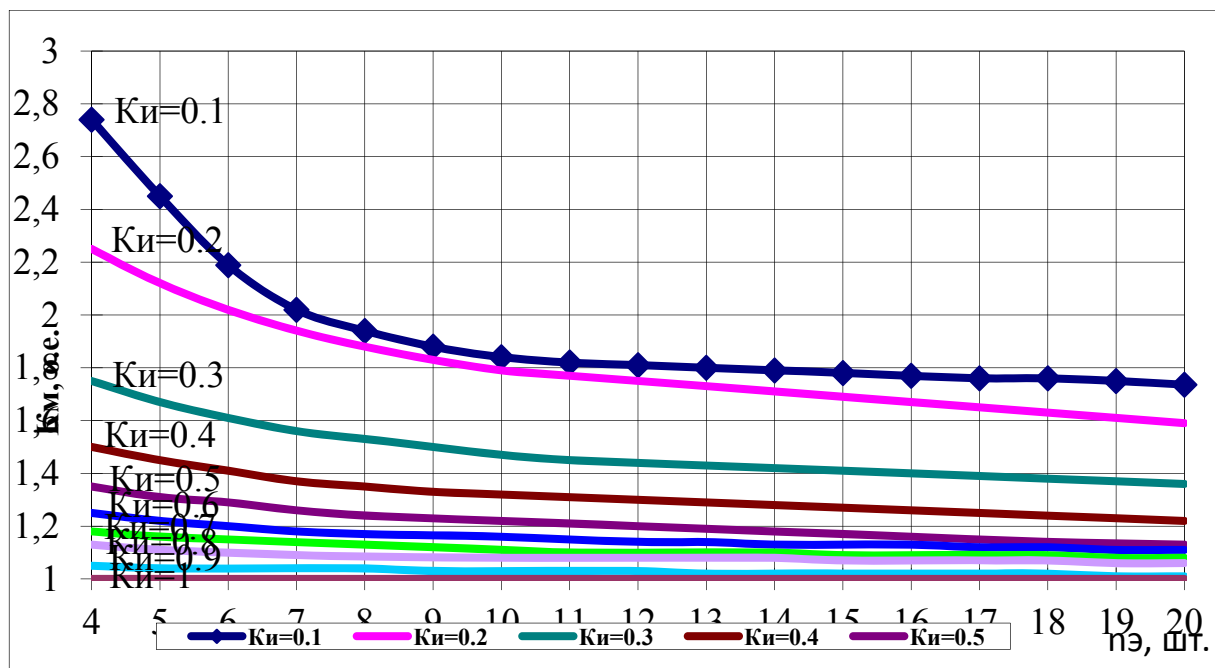


Рис.6 Зависимость коэффициента максимума от эффективного числа электроприемников при заданных коэффициентах использования установок в нефтегазодобыче

2.7 Порядок расчета электрических нагрузок по методу вероятностного моделирования

Для расчета нагрузок группы высоковольтных ЭП или некоторой технологической установки в целом должны быть определены два основных параметра графика нагрузки: C - средняя (математическое ожидание) за весь период исследования и M - максимально возможная нагрузка графика с заданным интервалом осреднения. Например, для насосных и компрессорных станций нефтяных промыслов за C принимается нагрузка, определенная одним из *двух способов*:

1. По коэффициенту использования

$$C = K_{\text{и}} \cdot P_{\text{н}}, \text{ кВт},$$

где $K_{\text{и}}$ - групповой коэффициент использования, определяемый так же, как и по методу упорядоченных диаграмм или статистическому методу;

$P_{\text{н}}$ - номинальная мощность группы или технологической установки в целом, кВт.

2. Методом удельных расходов электроэнергии по величине производственного плана установки и групповой нормы расхода электроэнергии.

$$C = (w \cdot \Pi) / T, \text{ кВт.ч}$$

где w - групповая норма расхода электроэнергии, кВт.ч/ед. прод.;

Π - план производства продукции за время T , ед. прод./ед. врем.

Величина M определяется как возможная наибольшая нагрузка установки. Если нет каких-либо дополнительных данных о графике нагрузки, то величина M может быть принята равной суммарной номинальной мощности технологической установки

$$M = P_n, \text{ кВт}$$

$$P_M = C \cdot \left(1 + \frac{\sqrt{\frac{M}{C} - 1}}{\sqrt{3}}\right), \frac{C}{M} \leq 0.75,$$

$$P_M = M, \frac{C}{M} > 0.75.$$

Расчетная реактивная нагрузка группы асинхронных двигателей определяется аналогично. Для групп синхронных двигателей расчетная реактивная нагрузка определяется:

$$Q_M = Q_c = K_u \cdot \operatorname{tg} \varphi_n \cdot P_n \cdot A_m, \text{ квар},$$

где A_m - коэффициент располагаемой реактивной мощности при заданном K_u . Для двигателей серии СТД величина A_m принимается равной 0.8, для серии СДН - 1.1.

Метод рекомендуется для расчета нагрузок установок с высоковольтными двигателями при любом числе ЭП, в том числе и меньшем четырех.

В табл.4 представлены рекомендуемые электрические нагрузки типовых нефте- и газопромысловых высоковольтных установок в блочном исполнении (кустовых насосных станций, дожимных насосных станций нефтепромыслов, компрессорных станций транспорта попутного и природного газа), определенных по данным вероятностного моделирования групповых графиков нагрузки. Коэффициент использования по активной мощности принят 0.7, за максимально допустимую нагрузку принимается сумма номинальных мощностей технологической установки.

2.8 Информация о показателях и уровнях электрических нагрузок различных нефте- и газопромысловых установок

При расчете электрических нагрузок технологических установок является соблюдается общее правило:

Средняя и расчетная электрические нагрузки определяются только для рабочих агрегатов, без учета резервных.

В табл.4 представлены рекомендуемые электрические нагрузки типовых нефте- и газопромысловых высоковольтных установок в блочном исполнении (кустовых насосных станций, дожимных насосных станций нефтепромыслов, компрессорных станций попутного нефтяного газа низ-

ких ступеней сепарации), определенных по данным вероятностного моделирования групповых графиков нагрузки. Коэффициент использования по активной мощности принят 0.7, за максимально допустимую нагрузку принимается сумма номинальных мощностей технологической установки.

Для другого числа двигателей и других установок необходимо применять расчет непосредственно по формулам, приведенной в п.2.7

Таблица 4

Расчетные нагрузки типовых нефтепромысловых и газопромысловых установок

Число и мощность рабочих ЭД, кВт	Тип привода	Средняя нагрузка	Расчетная нагрузка
3 x 1250	синхронный	$2630+j(-1270)$	$3340+j(-1270)$
3 x 1250	асинхронный	$2630+j1630$	$3340+j2070$
3 x 1600	синхронный	$3360+j(-1630)$	$4270+j(-1630)$
3 x 1600	асинхронный	$3360+j2080$	$4270+j2640$
3 x 4000	синхронный	$8240+j(-3990)$	$10800+j(-3990)$
3 x 4000	асинхронный	$8240+j5320$	$10800+j6630$
3 x 800	синхронный	$1500+j(-730)$	$1900+j(-730)$
3 x 800	асинхронный	$1500+j930$	$1900+j1180$
3 x 630	синхронный	$1330+j(-590)$	$1680+j(-590)$
3 x 630	асинхронный	$1330+j800$	$1680+j1000$
3 x 500	асинхронный	$1050+j630$	$1330+j800$
3 x 400	асинхронный	$840+j500$	$1060+j640$

Особым образом следует рассчитывать электрические нагрузки установок нерегулярного режима работы. Существует много методов расчета электрических нагрузок различных типов установок. Для установок нефтяной и газовой промышленности особым образом ведут расчеты нагрузок установок для бурения скважин и гидронамыва сооружений. Любой метод расчета должен в результате определить среднюю и расчетную (максимальную) нагрузку по активной и реактивной мощностям.

Как правило, для установок нерегулярного режима работы за электроприемник принимается не отдельный электродвигатель, а одна технологическая установка в целом. Для этой установки выделяются интервалы стационарности графика электрической нагрузки, определяются его параметры (расчетные коэффициенты или собственно средние, среднеквадратичные или расчетные мощности) и моделируется групповой график нагрузки или всех установок данного типа или групповой график разнородных установок, причем неспокойный неустановившийся график нагрузки установок нерегулярного режима работы вероятностными мето-

дами суперпозируется с нагрузками установок с относительно ровными графиками нагрузок.

Интервалы стационарности в большинстве случаев совпадают с отдельными технологическими операциями, выполняемыми установками нерегулярного режима работы. Так для буровых установок с электроприводом для условий нефтяной и газовой промышленности Тюменской области такими интервалами стационарности являются операции собственно бурения, спуско-подъемных операций и вспомогательных операций. За среднюю электрическую нагрузку установки в целом принимают средневзвешенную величину мощности за весь цикл проводки скважин. За расчетную нагрузку с заданным интервалом осреднения (например, 30 мин.) принимают электрическую нагрузку, которая не может быть превышена с заданной вероятностью. При этом, вероятность появления нагрузки 0.05 уже считается значимой.

Таблица 5

Значения электрических нагрузок буровых установок
в основных рабочих режимах, кВт

Нагрузка	БУ 2500 БрЭ			БУ 3000 ЭУК		
	Бурение	Спуско-подъемы	Вспомог. операции	Бурение	Спуско-подъемы	Вспомог. операции
Средняя, P_c	690	330	190	780	390	280
Среднеквадратичная, $P_{ск}$	960	480	230	1130	640	350
Расчетная, P_m	1080	560	260	1250	710	390

В табл. 5 представлены электрические нагрузки по активной мощности буровых установок на интервалах стационарности - в основных рабочих режимах. Реактивная нагрузка буровых установок с нерегулируемым приводом определяется специальными режимными расчетами, для целей проектирования ее обычно принимают равной 0.

За расчетную нагрузку буровой установки в целом принимают среднеквадратичную нагрузку наиболее загруженного периода - для данных типов установок это нагрузки собственно бурения.

Для нагрузки группы буровых установок вероятностными методами получены коэффициенты снижения нагрузок. Расчетная нагрузка группы из N установок определяется:

$$P_m = N * P_{mi} * K_{сн}, \text{ кВт},$$

где N - число установок в группе; P_{mi} - расчетная нагрузка одной установки, кВт; $K_{сн}$ - коэффициент снижения нагрузки, определяемый по табл.6.

Таблица 6

Коэффициенты снижения нагрузок при числе установок в группе N

N , шт.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 и более
$K_{сн}$, отн. ед.	1	0.68	0.59	0.53	0.49	0.45	0.43	0.41	0.41	0.4

Для буровых установок с регулируемым приводом при расчете реактивных нагрузок учитывается нагрузка тиристорных преобразователей. Расчет их реактивной мощности очень сложен и громоздок, поэтому в настоящее время для упрощения проектных расчетов принимают для установок с приводом постоянного тока $\cos \varphi = 1$, для регулируемого привода переменного тока принимают $\cos \varphi = 0.8$.

Для установок гидронамыва сооружений (землесосных снарядов) интервалами стационарности являются основные рабочие режимы намыва, рыхления и передвижки. Основные показатели нагрузок по активной мощности этих установок представлены в табл. 7.

За расчетную нагрузку установки в целом согласно принципу максимума среднеквадратичной нагрузки принимается среднеквадратичная нагрузка наиболее нагруженного режима - режима намыва. Реактивная нагрузка установок подсчитывается по очень сложной методике и для простоты при проектировании принимается $\cos \varphi = 0.7$.

Таблица 7

Электрические нагрузки установок для гидронамыва сооружений

Марка установки	Режим	Вид нагрузки	Значение, кВт
31 М-1350А	Намыв	Средняя P_c	730
		Среднеквадратичная $P_{ск}$	910
		Расчетная P_m	1170
	Рыхление	Средняя P_c	160
		Среднеквадратичная $P_{ск}$	210
		Расчетная P_m	250
	Передвижка	Средняя P_c	90
		Среднеквадратичная $P_{ск}$	130
		Расчетная P_m	160

Марка установки	Режим	Вид нагрузки	Значение, кВт
ЗСС-350-50Л	Намыв	Средняя P_c	1660
		Среднеквадратичная $P_{ск}$	2140
		Расчетная P_m	2440
	Рыхление	Средняя P_c	430
		Среднеквадратичная $P_{ск}$	630
		Расчетная P_m	900
	Передвижка	Средняя P_c	320
		Среднеквадратичная $P_{ск}$	370
		Расчетная P_m	440
ЗСС-300-40	Намыв	Средняя P_c	1560
		Среднеквадратичная $P_{ск}$	1930
		Расчетная P_m	2220
	Рыхление	Средняя P_c	420
		Среднеквадратичная $P_{ск}$	590
		Расчетная P_m	810
	Передвижка	Средняя P_c	300
		Среднеквадратичная $P_{ск}$	350
		Расчетная P_m	400

2.9 Методы суммирования разнородных электрических нагрузок

Для суммирования разнородных электрических нагрузок при проектировании используется много различных приемов.

Первый способ - простое сложение разнородных электрических нагрузок и умножение результата на коэффициент разновременности максимумов.

Коэффициент разновременности максимумов - величина достаточно неопределенная, ее значение принимают при проектировании от 0.8 до 0.99. Физически этот показатель тесно связан с заполнением суммарного графика нагрузки - чем более ровные графики составляют суммарный график нагрузок, тем выше этот коэффициент. На практике его связывают с временем использования максимума нагрузки.

Для каждой группы ЭП в результате расчета электрических нагрузок определяются средняя P_c и расчетная P_m нагрузки. Средняя нагрузка опре-

деляет расход электроэнергии за некоторый промежуток времени. Отметим, что для расчетного месяца при круглосуточной работе предприятия принимается время $T = 720$ ч., для года - 8760 ч.

Общее электропотребление определяется за месяц:

$$W = P_c \cdot 720, \text{ кВт.ч};$$

за год

$$W = P_c \cdot 8760, \text{ кВт.ч.}$$

Число часов использования максимума нагрузки определяется за заданный рабочий период

$$T_m = W / P_m, \text{ ч.}$$

В ряде случаев T_m представляется в справочных и нормативных документах по проектированию электроснабжения. Так для установок нефтяной промышленности представлены величины T_m по большинству технологических установок. В табл. 8 приведены показатели электрических нагрузок для некоторых типов установок нефтяной промышленности.

При больших годовых T_m (6000 ч. и выше) отдельных ЭП обычно принимают коэффициент разновременности максимумов 0.95, для разнородных ЭП с большим разбросом T_m допускается принимать этот коэффициент 0.9 и в отдельных случаях, когда суммарный график формируется в основном только ЭП с резко переменными графиками нагрузок, допускается снижать его до 0.8 - 0.85.

Таблица 8

Показатели электрических нагрузок технологических установок нефтяной промышленности

Установка	Коэф. включения k_v	Коэф. загрузки k_z	Коэф. мощности $\cos \varphi_{св}$	Время T_m , ч/год
1	2	3	4	5
Кустовые насосные станции	0.88	0.78	0.95(емк.)	6500 - 8000
Дожимные насосные станции	0.88	0.75	0.8	6500 - 8000
Установки подготовки нефти	0.88	0.77	0.8	6500 - 8000
Товарные парки	0.86	0.76	0.8	6500 - 8000

Установка	Коэф. включения k_v	Коэф. загрузки k_z	Коэф. мощности $\cos\varphi_{св}$	Время T_m , ч/год
1	2	3	4	5
Погружные электронасосы	0.9	0.7	0.7	5500 - 6500
Станки- качалки	0.84	0.73	0.78	5000 - 6500
Компрессорные станции	0.88	0.77	0.8	6500 - 8000
Водозаборы на реках и озерах	0.8	0.75	0.75	6000 - 7000
Водозаборные скважины	0.82	0.71	0.74	5000 - 6500
Вентиляторы	0.75	0.72	0.75	4500 - 5500
Насосные станции подтоварной воды	0.78	0.77	0.77	5500 - 7000
Насосы внешнего транспорта нефти	0.88	0.78	0.78	6700 - 8200

Второй способ - метод парциальных максимумов для расчета суммарных нагрузок.

Этот способ - наиболее достоверный с вероятностной точки зрения - применение Суммарная расчетная нагрузка определяется как сумма средней суммарной (получаемой простым сложением всех средних нагрузок) и расчетной геометрически взвешенной парциальной добавки, определяемой формой составляющих суммарный график нагрузки

$$P_M = P_C + \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta P_i^2}, \text{ кВт},$$

где P_C - средняя суммарная нагрузка, кВт;

ΔP_i - парциальная расчетная добавка, вносимая графиком 1-й группы в суммарную расчетную нагрузку, кВт.

Величина ΔP , наиболее достоверно определяется как превышение максимальной нагрузкой каждой i -й группы над средней. В этом случае основной формулой для суммирования разнородных электрических нагрузок является

$$P_M = \sum_{i=1}^n P_{Ci} + \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_{Mi} - P_{Ci})^2}, \text{ кВт.}$$

Аналогично суммируются и нагрузки по реактивной мощности групп электроприемников с отстающим током, из которых вычитаются считающиеся постоянными реактивные нагрузки установок с опережающим током

$$Q_M = \sum_{j=1}^m Q_{Cj} + \sqrt{\sum_{j=1}^m (Q_{Mj} - Q_{Cj})^2} + \sum_{k=1}^{n-m} (-Q_k), \quad \text{квар,}$$

где j - номер группы электроприемников с отстающим током;

m - число групп электроприемников с отстающим током;

k - номер группы электроприемников с опережающим током;

n - общее число групп электроприемников.

Третий способ объединяет методы, связанные с определением электрических нагрузок по удельным показателям производства.

Удельные показатели производства являются, как правило, оценочными и могут использоваться при прогнозных расчетах на некоторую перспективу или при выполнении технико-экономических обоснований. Впрочем, при определенных условиях эти методы дают хорошую сходимость рассчитанных электрических нагрузок с фактическими. В нефтяной и газовой промышленности из всех методов этой группы реально может быть применен метод удельного расхода электроэнергии.

Условия применения этого метода:

а) достаточно ровные и плотные в течение длительного времени графики электрических нагрузок. Такие графики характерны для крупных компрессорных станций (транспорта газа, газлифа, переработки газа на газоперерабатывающих заводах), насосных станций магистрального транспорта нефти, транспорта воды по магистральным водопроводам, то есть для производств, работающих круглосуточно при отсутствии заметных суточных, недельных, сезонных и т.п. колебаний нагрузки;

б) производства должны иметь достаточно стабильные удельные расходы электроэнергии на выработку единицы продукции. Это в основном те же производства, что и указаны в п. а) ;

в) промышленные предприятия должны иметь установившиеся объемы производства в периоды стабильной экономики региона, а, может быть, и страны в целом.

При выполнении этих условий принимается, что средние электрические нагрузки предприятий равны их расчетным нагрузкам.

Алгоритм расчета *электрических нагрузок по удельным показателям производства* следующий:

1. Определяется годовой расход электроэнергии предприятия или производства в целом

$$W = \varpi \cdot P, \text{ кВт.ч},$$

где ϖ - удельный расход электроэнергии на выработку единицы производимой продукции, кВт.ч/ед. прод.; P - план производства продукции в год, ед. прод/год.

2. Рассчитывается средняя (в данном случае и расчетная) электрическая нагрузка

$$P_c = P_m = W / 8760, \text{ кВт.}$$

3. Реактивная нагрузка определяется по среднегодовому значению коэффициента мощности:

$$Q_c = Q_m = P_m \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{CT}} = P_m \cdot \frac{\sin \varphi_{\text{CT}}}{\cos \varphi_{\text{CT}}} = P_m \cdot \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{\text{CT}}}}{\cos \varphi_{\text{CT}}}, \text{ квар.}$$

В отдельных случаях можно оценить P_m и для предприятий, у которых не все условия применения этого метода выполняются. Для таких предприятий обычно оценочно задается величина T_m в часах в течение года. Тогда

$$P_m = W / T_m, \text{ кВт.}$$

В табл. 9 представлены удельные показатели отдельных производств нефтяной и газовой промышленности. Следует отметить, что для насосной добычи нефти стабильным во времени удельным расходом электроэнергии является не удельное электропотребление на тонну добываемой нефти, а на тонну извлекаемой жидкости, так как в связи с постепенным истощением природной энергии пластов и резким ростом обводненности продукции удельный расход электроэнергии на тонну нефти постоянно растет, а на тонну добываемой жидкости этот рост по годам если и есть, то очень невелик. Во многих отраслях промышленности имеются нормативные и справочные документы по расчету удельных показателей электропотребления при применении определенных видов оборудования, при определенных условиях производства, параметрах технологических процессов. Не вдаваясь в подробности собственно нормирования электропотребления и определения рациональных удельных расходов электроэнергии с точки зрения

возможного энергосбережения, следует отметить, что в этих документах, например, в [12,13] имеется много ценной информации для оценки электрических нагрузок нефтедобычи, месторождений нефти, дают возможность оценить перспективы развития нагрузок, контролировать расчеты нагрузок по применяемому оборудованию.

Методы этой группы позволяют прогнозировать электропотребление и электрические нагрузки по данным технологии, по годам перспективного периода.

В этом случае расчет электропотребления и электрических нагрузок проводится независимо от типов применяемого оборудования. В основу его положен интегральный принцип единства энергозатрат по технологическим процессам в добыче нефти.

Таковыми процессами являются: глубинно-насосная добыча нефти, поддержание пластового давления (ППД), сбор и транспорт нефти, подготовка нефти, водоснабжение системы ППД, сбор и транспорт попутного газа, строительство скважин и т. п.

Таблица 9

Удельные расходы электроэнергии производств нефтедобывающей промышленности

Производство	Параметр, единица продукции	Обозначение	Удельный расход электроэнергии кВт.ч / ед. прод.
Глубиннонасосная добыча нефти	тонна жидкости	т ж.	6 - 19
Закачка воды в пласт	кубометр воды	м ³	5 - 12
Сбор и транспорт нефти	тонна нефти	т	0.7 - 5
Подготовка нефти	то же	т	0.5 - 3,5
Внешний транспорт нефти	то же	т	0.7 - 3.8
Подъем и подача воды (водозаборы на реках и озерах)	м ³	м ³	0.5 - 5
Подъем и подача воды (скважинные водозаборы)	то же	м ³	0.2 - 5
Бурение скважин	м проходки	м	40 - 80
Сбор и транспорт попутного газа	м ³ ×1000	тыс.м ³	110 - 220

Вопросы для самопроверки

1. По каким основным параметрам строятся и анализируются графики электрических нагрузок? Из каких соображений выбраны эти параметры?
2. Назовите типы графиков электрических нагрузок и приведите примеры разных типов графиков нагрузок.
3. Для каких целей определяются средние, среднеквадратические, расчетные нагрузки?
4. Дайте определение расчетной нагрузки. По каким основным принципам определяются расчетные нагрузки?
5. Дайте характеристику основных методов расчета электрических нагрузок. В какой мере используются понятия теории вероятностей в каждом из этих методов?
6. Как Вы думаете, отличаются ли расчетные нагрузки, определенные методом упорядоченных диаграмм и статистическим методом для основных нефте- и газопромысловых установок? Если да, то назовите причины их различия.
7. Для каких технологических установок приемлем метод вероятностного моделирования, в чем его сущность, каковы его условия применения?
8. В чем сущность интегральных методов расчета электрических нагрузок? Какие способы суммирования разнородных нагрузок Вы знаете?
9. Почему в любых методах погрешность расчета электрических нагрузок принята в достаточно широких пределах?
10. Назовите основоположников теории электрических нагрузок.

3. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ

3.1 Пример 1

Определить почасовые расходы электроэнергии (электропотребление, кВт.ч) и электрические нагрузки (активную мощность, кВт) по показаниям счетчика активной электрической энергии по наблюдениям за 6 часов одних суток. Счетчик подключен к ячейке РУ 10 кВ через трансформаторы тока и напряжения, коэффициенты трансформации указаны в таблице.

Таблица 10

Исходные данные для примера 1

Время начала интервала, ч.	Время конца интервала, ч.	Показания счетчика в начале интервала Пн	Показания счетчика в конце интервала Пк	Разность Пк-Пн	К _{ТН} , В/В 10000/100	К _{ТТ} , А/А 100/5	Р час, кВт = W _а час., кВт.ч
0	1	5114,34	5115,76	1,42	100	20	2840
1	2	5115,76	5116,84	1,08	100	20	2160
2	3	5116,84	5118,04	1,2	100	20	2400
3	4	5118,04	5119,12	1,08	100	20	2160
4	5	5119,12	5120,44	1,32	100	20	2640
5	6	5120,44	5121,77	1,33	100	20	2660

Для нахождения расхода электроэнергии в течение каждого интервала определим разность показаний счетчика в начале и в конце интервала Пк-Пн.

Так П1-П0= 5115,76-5114,34=1,42; П2-П1=5116,84-5115,76=1,08 и т.д. см. в таблице в столбце разность Пк-Пн.

Поскольку счетчик подключен через трансформаторы тока и напряжения, то получены разности следует умножить на коэффициенты трансформации ТТ и ТН, в результате получатся расходы электроэнергии в каждом интервале (интервал равен одному часу)

$$W_{а \text{ час}} (0-1) = (П1-П0) \cdot K_{ТТ} \cdot K_{ТН} = 1,42 \cdot 100 \cdot 20 = 2840 \text{ кВт.ч};$$

$$W_{а \text{ час}} (1-2) = (П2-П1) \cdot K_{ТТ} \cdot K_{ТН} = 1,08 \cdot 100 \cdot 20 = 2160 \text{ кВт.ч}.$$

Далее смотри в таблице, последний столбец.

Поскольку каждый заданный интервал равен одному часу, то часовое электропотребление в данном случае будет равно мощности, потребляемой данным присоединением, то есть $P = W_{\text{час}}$.

Если бы интервал был задан 0,5 часа, для получения потребляемой мощности получасовое электропотребление следовало бы умножить на 2, а если бы интервал был равен двум часам, то следовало бы разделить на 2.

По заданным измерениям можно определить нагрузки и показатели

А) среднечасовую за 6 часов наблюдений:

$$P_c = (2840 + 2160 + 2400 + 2160 + 2640 + 2660) / 6 = 2476,7 \text{ кВт};$$

В) расчетную за 6 часов наблюдений

$$P_p = \max(2840 + 2160 + 2400 + 2160 + 2640 + 2660) = 2840 \text{ кВт};$$

С) коэффициент максимума

$$K_m = P_p / P_c = 2840 / 2476,7 = 1,15.$$

3.2 Пример 2

Определить расходы реактивной электроэнергии (реактивное электропотребление, квар.ч) и электрические нагрузки (реактивную мощность, квар) по показаниям счетчика активной электрической энергии по наблюдениям за 6 часов одних суток. Счетчик подключен к ячейке РУ 10 кВ через трансформаторы тока и напряжения, коэффициенты трансформации указаны в таблице.

Таблица 11

Исходные данные для примера 2

Время начала интервала, ч.	Время конца интервала, ч.	Показания счетчика в начале интервала Пн	Показания счетчика в конце интервала Пк	Разность Пк-Пн	К _{тн} , В/В 10000/100	К _{тт} , А/А 100/5	Q час, квар = W _p час., квар.ч
0	1	182,34	182,96	0,62	100	20	1240
1	2	182,96	183,53	0,57	100	20	1140
2	3	183,53	184,11	0,58	100	20	1160
3	4	184,11	184,66	0,55	100	20	1100
4	5	184,66	185,27	0,61	100	20	1220
5	6	185,27	185,91	0,64	100	20	1280

Для нахождения расхода электроэнергии в течение каждого интервала определим разность показаний счетчика в начале и в конце интервала Пк-Пн.

Так П1-П0=182,96-182,34=0,62; П2-П1=183,53—182,96=0,57 и т.д. см. в таблице в столбце разность Пк-Пн.

Поскольку счетчик подключен через трансформаторы тока и напряжения, то получены разности следует умножить на коэффициенты трансформации ТТ и ТН, в результате получатся расходы реактивной электроэнергии в каждом интервале (интервал равен одному часу)

$$W_p \text{ час (0-1)} = (П1-П0) \cdot K_{тт} \cdot K_{тн} = 0,62 \cdot 100 \cdot 20 = 1240 \text{ квар.ч};$$

$$W_p \text{ час (0-1)} = (П2-П1) \cdot K_{тт} \cdot K_{тн} = 0,57 \cdot 100 \cdot 20 = 1140 \text{ квар.ч};$$

Далее смотри в таблице, последний столбец.

Поскольку каждый заданный интервал равен одному часу, то часовое электропотребление в данном случае будет равно мощности, потребляемой данным присоединением, то есть $Q = W_p$ час.

Если бы интервал был задан 0,5 часа, для получения потребляемой реактивной мощности получасовое реактивное электропотребление следовало бы умножить на 2, а если бы интервал был равен двум часам, то следовало бы разделить на 2.

По заданным измерениям можно определить нагрузки и показатели

А) среднечасовую за 6 часов наблюдений:

$$Q_c = (1240 + 1140 + 1160 + 1100 + 1220 + 1280) / 6 = 1190 \text{ квар};$$

В) расчетную за 6 часов наблюдений

$$Q_p = \max(1240 + 1140 + 1160 + 1100 + 1220 + 1280) = 1280 \text{ квар};$$

С) коэффициент максимума

$$L_m = Q_p / Q_c = 1280 / 1190 = 1,08.$$

3.3 Пример 3

Исходя из условий примеров 1 и 2 (предположим, что данные примеров получены в одно и то же время для одного и того же присоединения) определить средневзвешенные $\tan \varphi$ и $\cos \varphi$ для присоединения и эти же показатели для расчетной нагрузки, соответствующей максимальной активной мощности в течение наблюдаемого периода.

Для определения средневзвешенных показателей $\tan \varphi$ и $\cos \varphi$ определяем общее активное и реактивное электропотребление за весь наблюдаемый период

$W_a = 2840 + 2160 + 2400 + 2160 + 2640 + 2660 = 14860 \text{ кВт.ч}$ в соответствии с примером 1.

$$W_p = 1240 + 1140 + 1160 + 1100 + 1220 + 1280 = 7140 \text{ квар.ч.}$$

Средневзвешенный коэффициент реактивной мощности
 $\tan \varphi = W_p / W_a = 7140 / 14860 = 0,48.$

Средневзвешенный коэффициент активной мощности
 $\cos \varphi = W_a / (W_a^2 + W_p^2)^{0,5} = 14860 / (14860^2 + 7140^2)^{0,5} = 0,90.$

Для определения расчетных показателей $\tan \varphi$ и $\cos \varphi$ выберем строку, соответствующую расчетной нагрузке по активной мощности. Это строка интервала от 0 ч. до 1 ч. и активная нагрузка в этом интервале составляет 2840 кВт, для этого же периода реактивная нагрузка составляет 1240 квар.

Коэффициент реактивной мощности, соответствующий расчетной активной нагрузке

$$\tan \varphi = Q_p / P_p = 1240 / 2840 = 0,44.$$

Коэффициент активной мощности, соответствующий расчетной активной нагрузке

$$\cos \varphi = P_p / (P_p^2 + Q_p^2)^{0,5} = 2840 / (2840^2 + 1240^2)^{0,5} = 0,92.$$

Следует отметить, что в период максимальных нагрузок по активной мощности $\cos \varphi$ всегда немного выше средневзвешенного.

3.4 Пример 4

Определить средние нагрузки по активной, реактивной и полной мощности каждого куста и всей группы кустов скважин, задано число скважин в кусте, номинальная мощность электродвигателя ЭЦН на каждой скважине, коэффициент использования и средневзвешенный коэффициент активной мощности $\cos \varphi$ (см. таблицу)

Таблица 12

Исходные данные для примера 4

Куст	Число добы- вающих скважин, N, шт.	Номинальная мощность одного электродвигателя ЭЦН P_n , кВт	P_n куста	$K_{и}$	$\cos \varphi$	P_c	Q_c	S_c
1	7	125	875	0,80	0,77	703	583	913
2	6	125	750	0,71	0,74	529	481	715
3	11	160	1760	0,73	0,78	1278	1025	1639
4	8	125	1000	0,62	0,76	620	532	819
5	7	125	875	0,64	0,81	562	407	694

Определим номинальную мощность каждого куста

$$P_1 = N \cdot P_n = 125 \cdot 7 = 875 \text{ кВт};$$

$$P_2 = 125 \cdot 6 = 750 \text{ кВт};$$

$$P_3 = 160 \cdot 11 = 1760 \text{ кВт};$$

$$P_4 = 125 \cdot 8 = 1000 \text{ кВт};$$

$$P_5 = 125 \cdot 7 = 875 \text{ кВт};$$

Суммарная мощность всех пяти кустов

$$P_{n \text{ общ}} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = 875 + 750 + 1760 + 1000 + 875 = 5260 \text{ кВт}.$$

Средние нагрузки по активной мощности

$$P_{c1} = P_1 \cdot K_{и1} = 875 \cdot 0,80 = 703 \text{ кВт};$$

$$P_{c2} = 750 \cdot 0,71 = 529 \text{ кВт};$$

$$P_{c3} = 1760 \cdot 0,73 = 1278 \text{ кВт};$$

$$P_{c4} = 1000 \cdot 0,62 = 620 \text{ кВт};$$

$$P_{c5} = 875 \cdot 0,64 = 562 \text{ кВт}.$$

Суммарная средняя активная мощность

$$P_{c \text{ общ}} = 703 + 529 + 1278 + 620 + 562 = 3694 \text{ кВт}.$$

Средние нагрузки по полной мощности

$$S_{c1} = P_{c1} / \cos \varphi_{(1)} = 703 / 0,77 = 913 \text{ кВА};$$

$$S_{c2} = 529 / 0,74 = 715 \text{ кВА};$$

$$S_{c3} = 1278 / 0,78 = 1639 \text{ кВА};$$

$$S_{c4} = 620 / 0,76 = 819 \text{ кВА};$$

$$S_{c5} = 562 / 0,81 = 694 \text{ кВА}.$$

Суммарную среднюю полную мощность определять простым сложением нельзя, так как у пяти кустов разные коэффициенты мощности, поэтому сначала определим реактивные нагрузки каждого куста:

$$Q_{c1} = (S_{c1}^2 - P_{c1}^2)^{0,5} = (913^2 - 703^2)^{0,5} = 583 \text{ квар};$$

$$Q_{c2} = (715^2 - 529^2)^{0,5} = 481 \text{ квар};$$

$$Q_{c3} = (1639^2 - 1278^2)^{0,5} = 1025 \text{ квар};$$

$$Q_{c4} = (819^2 - 620^2)^{0,5} = 532 \text{ квар};$$

$$Q_{c5} = (694^2 - 562^2)^{0,5} = 407 \text{ квар}.$$

Суммарная средняя реактивная мощность

$$Q_{c \text{ общ}} = 583 + 481 + 1025 + 532 + 407 = 3028 \text{ квар}.$$

Суммарная полная средняя мощность

$$S_{c \text{ общ}} = (P_{c \text{ общ}}^2 + Q_{c \text{ общ}}^2)^{0,5} = (3694^2 + 3028^2)^{0,5} = 4776 \text{ кВА}.$$

$$\cos \varphi_{св} = 3694 / 4776 = 0,77.$$

3.5 Пример 5

Определить годовые расходы активной и реактивной электроэнергии по комплектным трансформаторным подстанциям опорной базы промысла, для которых определены средние нагрузки по активной и реактивной мощности и годовые фонды рабочего времени (см. таблицу).

Определить расходы электроэнергии по опорной базе промысла в целом.

Определить средневзвешенные коэффициенты реактивной мощности $\text{tg } \varphi$ по КТП и по базе в целом.

Таблица 13

Исходные данные для примера 5

Потребители	P_c , кВт	Q_c , квар	S_c , кВА	Тр,ч.	W_a , тыс. кВт.ч	W_p , тыс. квар.ч	$\text{tg } \varphi$
Опорная база промысла							
КТП-1 Пождепо	338	154	371	4000	1352	616	0,46
КТП-2 Ремонтный цех	446	156	472	3500	1561	546	0,35
КТП-3 Котельная	256	126	285	8600	2202	1084	0,49

КТП-4 Жилой поселе- лок	544	16	544	5000	2720	80	0,03
КТП-5 Ремонтная база	145	55	155	3500	508	193	0,38
КТП-6 Канализаци- онная насосная	602	441	746	8600	5177	3793	0,73
КТП-7 Воздушная компрессорная	178	112	210	6000	1068	672	0,63
КТП-8 Цех отопле- ния и вентиляции	899	422	993	8600	7731	3629	0,47
КТП-9 Поселок сторонней органи- зации	177	19	178	5000	885	95	0,11
Итого по БПО	3585	1501	3887	6472	23204	10707	0,46
Высоковольтные двигатели канали- зационной насосной	896	484	1018	8600	7706	4161	0,54
Итого по базе	4481	2169	4978	6898	30909	14868	0,48

Определяем годовые расходы активной электроэнергии по КТП.

Для КТП-1

$$W_a = P_c \cdot T_p = 338 \cdot 4000 = 1352\,000 \text{ кВт.ч} = 1352 \text{ тыс. кВт.ч.}$$

Для КТП-2

$$W_a = P_c \cdot T_p = 446 \cdot 3500 = 1561\,000 \text{ кВт.ч} = 1561 \text{ тыс. кВт.ч.}$$

Далее аналогично для всех КТП, см. столбец W_a , тыс. кВт.ч.

В строке «Итого по базе» суммируем все расходы электроэнергии

$$W_a = 30909 \text{ тыс. кВт.ч.}$$

Аналогично находим и расходы реактивной электроэнергии

$$W_p = Q_c \cdot T_p.$$

Для КТП-1

$$W_p = 154 \cdot 4000 = 616\,000 \text{ квар.ч} = 616 \text{ тыс. квар.ч.}$$

Для КТП-2

$$W_p = 156 \cdot 3500 = 546\,000 \text{ квар.ч} = 546 \text{ тыс. квар.ч.}$$

Далее для всех КТП аналогично (см. столбец W_p , тыс. квар.ч).

В строке «Итого по базе» суммируем все расходы реактивной электроэнергии

$$W_p = 14868 \text{ тыс. квар.ч.}$$

Находим средневзвешенный $\tan \varphi$ по КТП и в целом по базе.

Для КТП-1

$$\tan \varphi = W_p / W_a = 616 / 1352 = 0,46.$$

Для КТП-2

$$\tan \varphi = W_p / W_a = 546 / 1561 = 0,35.$$

Далее аналогично (см. последний столбец).

Для базы в целом

$$\tan \varphi = W_p / W_a = 14868 / 30909 = 0,48.$$

Можно найти и среднегодовой фонд рабочего времени по базе в целом
 $T_{р\text{ общ}} = W_{а\text{ общ}}/P_{с\text{ общ}} = 30909/4481 = 6898 \text{ ч.}$, где $P_{с\text{ общ}}$ – суммарная средняя активная мощность по базе в целом.

3.6 Пример 6

Пусть задана группа установок добычи нефти, состоящая из пяти центробежных электронасосов с показателями $N = 5$; $p_i = 45 \text{ кВт}$; $k_u = 0.6$; $\eta_n = 0.85$; $l_u = 0.65$; $\cos \varphi_n = 0.8$ ($\tan \varphi_n = 0.75$); семи станков-качалок с асинхронным приводом с показателями $N = 7$; $p_i = 20 \text{ кВт}$; $k_u = 0.7$; $\eta_n = 0.875$; $l_u = 0.75$; $\cos \varphi_n = 0.8$; трех станков-качалок с синхронным приводом: $N = 3$; $p_i = 30 \text{ кВт}$; $k_u = 0.65$; $\eta_n = 0.9$; $\cos \varphi_n = 0.9$ (емк.), то есть $\tan \varphi_n = -0.44$. Определить расчетную нагрузку по активной и реактивной мощности методом упорядоченных диаграмм, а также расчетный ток в линии напряжением $U_i = 6000 \text{ В}$.

Расчет начинается с определения нагрузки по активной мощности. Коэффициент использования находится

$$K_u = \frac{\sum_{i=1}^n k_{ui} \cdot p_i}{\sum_{i=1}^n p_i} = \frac{\sum_{i=1}^n k_{Bi} \cdot k_{zi} \cdot p_i}{\sum_{i=1}^n p_i},$$

$$K_u = \frac{5 \cdot 45 \cdot 0,6 + 7 \cdot 20 \cdot 0,7 + 3 \cdot 30 \cdot 0,7}{5 \cdot 45 + 7 \cdot 20 + 3 \cdot 30} = 0,64,$$

а эффективное число ЭП по активной мощности:

$$n_{CKP} = \frac{(\sum_{i=1}^n P_i)^2}{\sum_{i=1}^n P_i^2}, \text{ шт.}$$

$$n_{CKP} = \frac{(5 \cdot 45 + 7 \cdot 20 + 3 \cdot 30)^2}{5 \cdot 45^2 + 7 \cdot 20^2 + 3 \cdot 30^2} = 13,2, \text{ шт.},$$

округляют до целого $n_{CKP} = 13 \text{ шт.}$

По кривым зависимостей K_m от n_{CKP} находят коэффициент максимума при $K_u = 0,64$ и $n_{CKP} = 13$. Коэффициент максимума $K_m = 1,25$. Средняя нагрузка по активной мощности

$$P_c = 0,64 \times (5 \times 45 + 7 \times 20 + 3 \times 30) = 291,2, \text{ кВт.}$$

Расчетная нагрузка по активной мощности

$$P_m = 0,64 \times 1,25 \times (5 \times 45 + 7 \times 20 + 3 \times 30) = 364, \text{ кВт.}$$

Аналогично определяем и нагрузки по реактивной мощности. Однако, прежде чем проводить расчет, найдем номинальные реактивные мощности индивидуальных ЭП для первой группы (центробежные электронасосы):

$$q_i = \frac{p_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i}{\eta_i}, \text{ квар}$$

$$q_1 = \frac{45 \cdot 0,75}{0,875} = 39,7, \text{ квар};$$

для второй группы (станки-качалки с асинхронными двигателями) аналогично:

$$q_2 = \frac{20 \cdot 0,75}{0,875} = 17,1, \text{ квар};$$

для третьей группы (станки-качалки с синхронными двигателями) аналогично:

$$q_3 = \frac{30 \cdot (-0,44)}{0,9} = -14,1, \text{ квар}.$$

Дальнейший расчет для группы приемников с отстающим током проводим по аналогии с расчетом нагрузок по активной мощности

$$L_u = \frac{5 \cdot 39,7 \cdot 0,65 + 7 \cdot 17,1 \cdot 0,75}{5 \cdot 39,7 + 7 \cdot 17,1} = 0,69;$$

$$n_{\text{СКв}} = 10 \text{ (без ЭП с опережающим током);}$$

$$L_M = 1,17.$$

$$Q_c = 0,69 \times (5 \times 39,7 + 7 \times 17,1) = 219,6, \text{ квар}$$

(без ЭП с опережающим током);

$$Q_M = 1,17 \times 0,69 \times (5 \times 39,7 + 7 \times 17,1) = 256,9, \text{ квар}$$

(без ЭП с опережающим током).

Реактивная нагрузка ЭП с опережающим током считается постоянной во времени

$$Q_n = Q_c = Q_M = 3 \cdot (-14,7) = -44,1, \text{ квар}.$$

Общая реактивная нагрузка

$$Q_c = 219,6 - 44,1 = 175,5, \text{ квар};$$

$$Q_M = 256,9 - 44,1 = 212,8, \text{ квар}.$$

Тогда нагрузки по примеру составляют

$$S_c = 291,2 + j175,5 = 340 \cdot e^{j29^\circ}, \text{ кВ.А};$$

$$S_M = 364 + j212,8 = 421,6 \cdot e^{j28,3^\circ}, \text{ кВ.А}.$$

Расчетный ток в линии, питающей данные электроустановки

$$I_P = \frac{S_M}{U_i \sqrt{3}} = \frac{421 \cdot 10^3}{6000 \cdot \sqrt{3}} = 40,6, \text{ А}.$$

Исследованиями установлено, что применение метода упорядоченных диаграмм ограничено напряжением 1000 В, причем группы ЭП должны быть достаточно однородными по составу, как правило, этот метод применяется для расчетов нагрузок отдельных трансформаторных подстанций и линий, питающих определенный технологический процесс.

3.7 Пример 7

Рассчитать нагрузки по условиям примера 6. Воспользуемся исходными данными и некоторыми рассчитанными величинами из этого примера.

По активной мощности $K_u = 0.64$, $P_c = 291.2$, кВт, $n_{скр} = 13$, шт.

Вычисляем K_m

$$K_m = 1 + \frac{0.5 - 0.4 \cdot K_u}{K_u \cdot \sqrt{n_{скр}}},$$

$$K_m = 1 + \frac{0.5 - 0.4 \cdot 0.64}{0.64 \cdot \sqrt{13}} = 1.11; \text{отн.ед.}.$$

Отсюда расчетная активная нагрузка P_m

$$P_m = 1.11 \cdot 291.2 = 323.2, \text{ кВт.}$$

Аналогично выполняем и расчет реактивной мощности

$$Q_c = 175.5, \text{ квар;}$$

$$Q_m = 194.8, \text{ квар.}$$

Как видно из результатов расчета, нагрузки по статистическому методу получаются несколько ниже, чем по методу упорядоченных диаграмм.

3.8 Пример 8

Определить расчетную нагрузку типовой блочной дожимной насосной станции, представляющей из себя блок из трех насосов, приводимых асинхронными электродвигателями мощностью 630 кВт каждый. Известно, что коэффициент использования двигателя ДНС по активной мощности составляет 0,70, по реактивной – 0,72, режим загрузки под номинальную мощность допустим, номинальный $\cos \varphi$ составляет 0,9 ($\tan \varphi = 0,6$). КПД электродвигателя $\eta = 0,9$.

По вероятностной модели графика активной мощности

$$C = K_u \cdot P_n = 0.7 \times 3 \times 630 = 1323, \text{ кВт;}$$

$$M = P_n = 3 \times 630 = 1890, \text{ кВт.}$$

$$C/M = 1323/1890 = 0,7, \text{ то есть меньше, чем } 0,75.$$

Тогда

$$P_m = C \cdot \left(1 + \frac{\sqrt{\frac{M}{C}} - 1}{\sqrt{3}} \right) \text{ где } \frac{C}{M} \leq 0,75$$

$$P_m = 1323 \cdot \left(1 + \frac{\sqrt{\frac{1890}{1323}} - 1}{\sqrt{3}} \right) = 1764, \text{ кВт.}$$

Номинальная реактивная мощность электродвигателя

$$q_i = \frac{p_i \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\eta_i}, \text{ квар}$$

$$q_i = \frac{630 \cdot 0.6}{0.9} = 420, \text{ квар.}$$

Параметр моделирования C по реактивной мощности

$$C = L_u \cdot Q_n = 0.72 \cdot 3 \cdot 420 = 907, \text{ квар;}$$

Параметр моделирования M по реактивной мощности

$$M = Q_n = 3 \cdot 420 = 1260, \text{ квар.}$$

$C/M = 907/1260 = 0.74 < 0.75$, поэтому рассчитывается Q_m аналогично R_m

$$Q_m = 1120, \text{ квар.}$$

Расчетная нагрузка блочной станции составляет

$$S = 1764 + j1120 = 2090 e^{32^\circ}, \text{ кВ.А.}$$

3.9 Пример 9

Определить средние и расчетные нагрузки по базе промысла в целом при заданных средних и расчетных нагрузках отдельных КТП, питающих отдельные объекты, расположенные на территории базы (см. таблицу). Задачу решить с применением метода парциальных максимумов.

Таблица 14

Исходные данные для примера 9

Потребители	P_n , кВт	P_c , кВт	Q_c , квар	S_c , кВА	P_m , кВт	Q_m , квар	S_m , кВА	$\operatorname{tg} \varphi$
Опорная база промысла								
КТП-1 Пождепо	322	211	142	254	252	167	302	0,67
КТП-2 Ремонтный цех	411	356	188	403	388	211	442	0,53
КТП-3 Котельная	390	260	130	291	300	150	335	0,50
КТП-4 Жилой поселок	778	432	88	441	477	112	490	0,20
КТП-5 Ремонтная база	182	114	77	138	143	118	185	0,68
КТП-6 Канализационная насосная	542	402	342	528	472	384	608	0,85
КТП-7 Воздушная компрессорная	322	188	114	220	221	145	264	0,61
КТП-8 Цех отопления и вентиляции	833	656	322	731	772	408	873	0,49
КТП-9 Поселок сторонней организации	334	242	64	250	322	95	336	0,26
Высоковольтные двигатели канализационной насосной	1280	896	484	1018	1150	655	1323	0,54
Итого по базе	5394	3757	2039	4275	4114	2244	4756	0,54

Расчетная нагрузка по активной мощности, кВт, определяется по формуле:

$$P_M = \sum_{i=1}^n P_{Ci} + \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_{Mi} - P_{Ci})^2},$$

где P_{Ci} - средняя активная нагрузка i -го потребителя, кВт; P_{Mi} - расчетная нагрузка i -го потребителя, кВт.

Для опорной базы промысла в целом

$$P_M = (211+456+260+432+114+402+186+656+242+896)+[(252-211)^2+(398-356)^2+(300-260)^2+(477-432)^2+(143-114)^2+(472-402)^2+(221-188)^2+(772-656)^2+(322-242)^2+(1150-896)^2]^{0.5}=3757+357=4114 \text{ кВт};$$

Расчетная нагрузка по реактивной мощности, квар, определяется по формуле:

$$Q_M = \sum_{i=1}^n Q_{Ci} + \sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{Mi} - Q_{Ci})^2},$$

где Q_{Ci} - средняя реактивная нагрузка i -го потребителя, квар; Q_{Mi} - расчетная реактивная нагрузка i -го потребителя, квар.

Используется формула, аналогичная формуле для активной нагрузки, так как все потребители, расположенные на базе, работают с индуктивным коэффициентом реактивной мощности $\tan \varphi$.

Расчетная реактивная нагрузка по аналогии с активной

$$Q_M = 2039+205= 2244 \text{ квар}.$$

Средневзвешенный коэффициент реактивной мощности по базе в целом

$$\tan \varphi = Q_C/P_C=2039/3757=0,54.$$

3.10 Пример 10

Для ряда кустов нефтескважин, оборудованных погружными центробежными электронасосами (ЭЦН) имеются данные (см. таблицу) по дебитам по добываемой жидкости (производительности) скважин, динамическим уровням, коэффициентам полезного действия глубинно-насосных установок, средневзвешенным коэффициентам мощности. Оценить средние нагрузки кустов по активной, реактивной и полной мощностям, исходя из имеющихся данных.

Динамическим уровнем добывающей скважины называется расстояние в м, на которое должен поднять жидкость из скважины погружной насос

$$H_{дин} = L_{скв} - H_{пл} - H_{ппд} - H_г,$$

где $L_{скв}$ - глубина скважины, м;

$H_{пл}$ - уровень подъема жидкости за счет собственного пластового давления, м;

$H_{ппд}$ - уровень подъема жидкости за счет работы системы ППД, м;

$H_г$ - уровень подъема жидкости за счет работы растворенного газа, м

Исходные данные для примера 10

Куст	Число добывающих скважин, N, шт.	Дебит скважины по жидкости q час скв, м3/ч	Дебит по кусту в целом Q куст, м3/ч	Средний динамический уровень Н дин., м	Средневзв. cos φ	Средневзв. КПД η эцн
1	7	9,6	67,2	1088	0,77	0,41
2	6	8,9	53,4	788	0,74	0,38
3	11	6,7	73,7	1109	0,78	0,31
4	8	9,8	78,4	565	0,76	0,38
5	7	15,1	105,7	661	0,81	0,39
6	9	10,5	94,5	876	0,79	0,34

Определяем удельный расход электроэнергии по каждому кусту
 $\omega = 0,0274 * 1,15 * H \text{ дин/}\eta \text{ эцн}$, где 1,15 – коэффициент дополнительных расходов электроэнергии на кусте скважин (замерные установки, электрообогрев труб и оборудования, электроосвещение и пр.)

Для куста 1

$$\omega = 0,0274 * 1,15 * H \text{ дин/}\eta \text{ ЭЦН} = 0,0274 * 1,15 * 1088 / 0,41 = 8,36 \text{ кВт.ч/м}^3;$$

Для куста 2

$$\omega = 0,0274 * 1,15 * H \text{ дин/}\eta \text{ ЭЦН} = 0,0274 * 1,15 * 768 / 0,38 = 6,53 \text{ кВт.ч/м}^3;$$

Аналогично и для других кустов. Данные заносим в таблицу расчетов.

Часовой расход активной электроэнергии, численно равный средней активной мощности для каждого куста:

Для куста 1

$$W_a = P_c = \omega * Q_{\text{куст}} = \omega * N * q_{\text{час. скв.}} = 8,36 * 7 * 9,6 = 561,9 \text{ кВт}$$

(или кВт.ч/ч);

Для куста 2

$$W_a = P_c = \omega * Q_{\text{куст}} = \omega * N * q_{\text{час. скв.}} = 6,53 * 6 * 8,9 = 348,9 \text{ кВт}$$

(или кВт.ч/ч).

Аналогично и для других кустов. Данные заносим в таблицу расчетов.

Полная мощность кустов определяется как

$$S_c = P_c / \cos \varphi$$

Для куста 1

$$S_c = P_c / \cos \varphi = 561,9 / 0,77 = 729,8 \text{ кВА}$$

Для куста 2

$$S_c = P_c / \cos \varphi = 348,9 / 0,74 = 471,5 \text{ кВА}$$

Аналогично и для других кустов. Данные заносим в таблицу расчетов.

Часовой расход реактивной электроэнергии, численно равный средней реактивной мощности для каждого куста

$$W_p = Q_c = (S_c^2 - P_c^2)^{0,5}$$

Для куста 1

$$W_p = Q_c = (S_c^2 - P_c^2)^{0,5} = (729,8^2 - 561,9^2)^{0,5} = 465,6 \text{ квар (или квар.ч/ч)}$$

Для куста 2

$$W_p = Q_c = (S_c^2 - P_c^2)^{0,5} = (471,5^2 - 348,9^2)^{0,5} = 317,1 \text{ квар (или квар.ч/ч)}$$

Аналогично и для других кустов. Данные заносим в таблицу расчетов.

Таблица 16

Расчетные данные для примера 10

Куст	Удельный расход электроэнергии, ω , кВт.ч/м3	Расход активной электроэнергии, W_a , кВт.ч/ч	Оценка средней активной нагрузки, P с куст, кВт	Оценка средней реактивной нагрузки Q с куст, квар	Оценка полной мощности S_c куст (по средним P_c и Q_c)
1	8,36	561,90	561,90	465,61	729,75
2	6,53	348,93	348,93	317,15	471,52
3	11,27	830,78	830,78	666,52	1065,10
4	4,69	367,31	367,31	314,11	483,30
5	5,34	564,50	564,50	408,69	696,91
6	8,12	767,19	767,19	595,41	971,13
Итого по всем кустам*		3440,6	3440,6	2767,5	4415,5

Таким образом, средние нагрузки по шести кустам в целом составляют $3,4+j2,8$ МВА.

3.11 Пример 11

Найти средние и расчетные нагрузки по активной и реактивной мощности, активное и реактивное суточное электропотребление по шести постам наружного *рабочего* освещения технологической площадки КНС-ЦПС, исходные данные для декабря см. в таблице.

Таблица 17

Исходные данные для примера 11

Пост №	Число светильников N , шт.	Мощность одного светильника P , Вт	Ки (декабрь)	Средневзвешенный $\cos \varphi$
1	12	500	0,88	1
2	4	1000	0,68	1
3	4	400	0,74	0,98
4	6	400	0,87	0,98
5	4	500	0,72	1
6	7	400	0,84	0,98

На постах №№ 3, 4 и 6 применены светодиодные светильники, имеющие не единичный коэффициент мощности.

Электроснабжение осветительной нагрузки предполагается осуществить от отдельной комплектной трансформаторной подстанции напряжением 10/0,4 кВ, распределение однофазной нагрузки по фазам для их симметричной загрузки выполняется на каждом посту. Учитывая, что осветительная нагрузка (рабочее освещение) получает электроснабжение по третьей категории надежности, это может быть однотрансформаторная подстанция (осветительная нагрузка наиболее ответственных потребителей – сигнализации, аварийного освещения и т.д. должна резервироваться от отдельного источника электроснабжения, например, от аккумуляторной батареи или от аварийной дизельной электростанции).

Особенностью осветительной нагрузки является полная загрузка всех светильников в течение времени включения и полное отсутствие нагрузки в светлое время суток.

В связи с этим среднесуточные нагрузки определяются только коэффициентом включения светильников, то есть $k_u = k_v$ для каждого поста.

Определим средние нагрузки и расходы электроэнергии по постам.

Номинальные мощности постов

$$P_n = N * P$$

Для первого поста

$$P_n = 12 * 500 = 6000 \text{ Вт} = 6 \text{ кВт}$$

Для второго

$$P_n = 4 * 1000 = 4000 \text{ Вт} = 4 \text{ кВт}$$

Для остальных аналогично, данные заносим в таблицу расчетов для средних нагрузок

Средние нагрузки постов

$$P_{cp} = K_u * P_n$$

$$S_{cp} = P_{cp} / \cos \varphi$$

$$Q_{cp} = (S_{cp}^2 - P_{cp}^2)^{0,5}$$

Для первого поста

$$P_{cp} = 0,88 * 6 = 5,28 \text{ кВт}$$

$$S_{cp} = 5,28 / 1 = 5,28 \text{ кВА}$$

$$Q_{cp} = (5,28^2 - 5,28^2)^{0,5} = 0$$

Для второго поста

$$P_{cp} = 0,68 * 4 = 2,72 \text{ кВт}$$

$$S_{cp} = 2,72 / 1 = 2,72 \text{ кВА}$$

$$Q_{cp} = (2,72^2 - 2,72^2)^{0,5} = 0$$

Для остальных аналогично, данные заносим в таблицу расчетов для средних нагрузок

Электропотребление за сутки

$$W_a = P_{cp} * 24$$

$$W_p = Q_{cp} * 24$$

Для первого поста

$$W_a = 5,28 \cdot 24 = 126,7 \text{ кВт.ч/сут}$$

$$W_p = 0 \cdot 24 = 0$$

Для второго поста

$$W_a = 2,72 \cdot 24 = 65,3 \text{ кВт.ч/сут}$$

$$W_p = 0 \cdot 24 = 0$$

Для остальных аналогично, данные заносим в таблицу расчетов для средних нагрузок (таблица 18).

Расчетные нагрузки находим в соответствии с методом упорядоченных диаграмм.

Поскольку каждый пост оборудован только одним типоразмером светильников, эффективное число электроприемников как по активной, так и по реактивной мощности следует принять для каждого поста равным N . Коэффициент использования для простоты примем одинаковым как по активной, так и по реактивной мощностям. Для отыскания коэффициентов максимума воспользуемся кривыми $K_m = f(K_i, n_{cr})$. Указаний по определению электрических нагрузок в промышленных установках, которые приведены и в данной работе (см. рис. 5).

Таблица 18

Средние нагрузки и суточные расходы электроэнергии по постам для примера 11

Пост №	Расход активной электроэнергии, кВт.ч/сут.	Расход реактивной электроэнергии, квар.ч/сут.	Оценка активной нагрузки, кВт	Оценка полной мощности, кВА	Оценка реактивной нагрузки, квар
1	126,7	0	5,28	5,28	0,00
2	65,3	0	2,72	2,72	0,00
3	28,4	5,8	1,18	1,21	0,24
4	50,1	10,1	2,09	2,13	0,42
5	34,6	0	1,44	1,44	0,00
6	56,4	11,6	2,35	2,40	0,48

Для первого поста при $K_i = 0,88$ и $n_{cr} = 12$ $K_m = 1,07$

Расчетная нагрузка по активной мощности

$$P_p = K_m \cdot P_c = 1,07 \cdot 5,28 = 5,65 \text{ кВт};$$

Расчетная нагрузка по полной мощности

$$S_p = P_p / \cos \varphi = P_p = 5,65 \text{ кВА, так как } \cos \varphi = 1$$

Расчетная нагрузка по реактивной мощности

$$Q_p = (S_p^2 - P_p^2)^{0,5} = 0 \text{ квар.}$$

Результаты расчетов заносим в таблицу 19. Токи по сторонам 0,4 и 10 кВ трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ предлагается найти по формуле

$$I = S / (3^{0,5} \cdot U)$$

Для первого поста на стороне напряжения 0,4 кВ

$$I = S/(3^{0,5} \cdot U) = 5,65/(1,73 \cdot 0,4) = 8,16 \text{ А}$$

Для остальных постов и напряжения 0,4 и 10 кВ аналогично, данные занесены в таблицу расчетных нагрузок (таблица 3) .

Для определения тока по каждому светильнику, учитывая особенности осветительной нагрузки в качестве расчетной принимается номинальная мощность каждого светильника, так как в период включения светильник всегда работает практически с номинальной нагрузкой. Естественно, каждый отдельный светильник получает электроснабжение от сети напряжением 0,4 кВ, поэтому и ток определяется только по этой стороне.

Так для первого поста (напомним, что номинальные мощности каждого светильника на первом посту 500 Вт или 0,5 кВт), а напряжение 0,4 кВ ток каждого светильника

$$I = S/(3^{0,5} \cdot U) = 0,5/(1,73 \cdot 0,4) = 0,72 \text{ А}$$

Для второго поста ток каждого светильника на напряжении 0,4 кВ

$$I = S/(3^{0,5} \cdot U) = 1/(1,73 \cdot 0,4) = 1,44 \text{ А и т.д.}$$

Таблица 19

Расчетные нагрузки по постам для примера 11

Пост №	Эффективное число приемников $n_{\text{ск}}$ по активной мощности	Эффективное число приемников $n_{\text{ск}}$ по реактивной мощности	Коэффициент максимума K_m (таблица или график)	Оценка активной нагрузки, Р, кВт	Оценка полной мощности S, кВА	Оценка реактивной нагрузки Q, квар	Ток I на стороне напряжения КТП U=0,4 кВ, А	Ток I на стороне напряжения КТП U= 10 кВ, А
1	12	0	1,07	5,65	5,65	0,00	8,16	0,33
2	4	0	1,18	3,21	3,21	0,00	4,64	0,19
3	4	4	1,16	1,37	1,40	0,28	2,03	0,08
4	6	6	1,14	2,38	2,43	0,48	3,51	0,14
5	4	0	1,17	1,68	1,68	0,00	2,43	0,10
6	7	7	1,15	2,70	2,76	0,55	3,99	0,16

3.12 Пример 12

Для цеха, содержащего несколько групп металлорежущих станков, заданы номинальные мощности групп однородных станков, число станков по типам, коэффициенты использования и мощности (см. таблицу 20). Цех работает в 3 смены.

Для решения задачи применить метод упорядоченных диаграмм, воспользоваться кривыми зависимости коэффициента максимума нагрузки K_m

от эффективного числа электроприемников $n_{ск}$ при различных $K_{и}$ (по данным “Указаний по определению электрических нагрузок в промышленных установках”) для общепромышленных потребителей электроэнергии.

Определить среднюю и расчетную активную и реактивную мощность всех станков цеха, расход активной электроэнергии за сутки, за месяц и за год.

Таблица 20

Исходные данные к примеру 12

Исходные данные				
Электроприемники	p_n , кВт	$K_{и}$	$\cos \varphi$	Число станков этого типа N
Металлорежущий станок 1-го типа	17,2	0,38	0,77	3
Металлорежущий станок 2-го типа	14,1	0,41	0,76	4
Металлорежущий станок 3-го типа	22,6	0,48	0,79	7
Металлорежущий станок 4-го типа	11,6	0,39	0,71	7

Решение.

Метод упорядоченных диаграмм позволяет определить расчетные нагрузки однородных групп электроприемников, в частности, в данной задаче все группы потребителей представлены металлорежущими станками, поэтому все расчеты могут быть проведены суммарно для всех представленных в задаче потребителей электроэнергии.

Расчет начинается с определения средних нагрузок.

Для каждого типа станков

$$P_n = p_n \cdot N, \text{ кВт};$$

$$P_c = K_{и} \cdot P_n, \text{ кВт};$$

$$S_c = P_c / \cos \varphi, \text{ кВА};$$

$$Q_c = (S_c^2 - P_c^2)^{0,5}, \text{ квар}$$

Для первого типа станков

$$P_n = 17,2 \cdot 3 = 51,6 \text{ кВт}$$

$$P_c = 0,38 \cdot 51,6 = 19,6 \text{ кВт}$$

$$S_c = 19,6 / 0,77 = 25,5 \text{ кВА};$$

$$Q_c = (25,5^2 - 19,6^2)^{0,5} = 16,2 \text{ квар.}$$

Данные заносим в таблицу расчетных данных по средним нагрузкам (таблица 21), для других типов станков аналогично.

Далее определяются расходы активной электроэнергии за сутки, месяц и год

Суточный расход активной электроэнергии

$$W_{а сут} = P_c \cdot 24 = 150,3 \cdot 24 = 3608,1 \text{ кВт.ч.}$$

Результаты расчетов к примеру 12

Электроприемники	P_n , кВт	P_c , кВт	S_c , кВА	Q_c , квар
Металлорежущий станок 1-го типа	51,6	19,6	25,5	16,2
Металлорежущий станок 2-го типа	56,4	23,1	30,4	19,8
Металлорежущий станок 3-го типа	158,2	75,9	96,1	58,9
Металлорежущий станок 4-го типа	81,2	31,7	44,6	31,4
Всего	347,4	150,3	196,4	126,4

Месячный расход

$$W_{\text{а мес}} = P_c \cdot 720 = 150,3 \cdot 720 = 108241,9 \text{ кВт.ч.}$$

Годовой расход

$$W_{\text{а год}} = P_c \cdot 8760 = 150,3 \cdot 8760 = 1316943,4 \text{ кВт.ч.}$$

Здесь 24, 720 и 8760 – соответственно суточный, месячный и годовой фонд рабочего времени для трехсменных предприятий, ч.

Общий по цеху коэффициент использования

$$K_{\text{и Г}} = P_c / P_n = 150,3 / 347,4 = 0,43.$$

Общий по цеху коэффициент мощности

$$(\cos \varphi)_{\text{Г}} = P_c / S_c = 150,3 / 196,4 = 0,77$$

Для определения расчетных нагрузок необходимо знать среднеквадратичное число электроприемников

$$n_{\text{СК}} = \frac{(\sum_{i=1}^n P_{ii})^2}{\sum_{i=1}^n P_{ii}^2}, \text{ шт.}$$

Для цеха в целом

$$n_{\text{СК}} = (17,2^2 \cdot 3 + 14,1^2 \cdot 4 + 22,6^2 \cdot 7 + 11,6^2 \cdot 7) / (17,2^2 \cdot 3 + 14,1^2 \cdot 4 + 22,6^2 \cdot 7 + 11,6^2 \cdot 7) = 19,5 \text{ шт.}$$

Округляем до целого $n_{\text{СК}} = 20$ шт.

По кривым “Указаний по определению электрических нагрузок в промышленных установках” при $K_{\text{и}} = 0,43$ и $n_{\text{СК}} = 20$ коэффициент максимума составляет 1,22.

Тогда для цеха в целом:

$$P_p = K_m \cdot P_c = 1,22 \cdot 150,3 = 183,4 \text{ кВт;}$$

$$S_p = P_p / (\cos \varphi)_{\text{Г}} = 183,4 / 0,77 = 239,6 \text{ кВА;}$$

$$Q_p = (239,6^2 - 183,4^2)^{0,5} = 154,2 \text{ квар.}$$

4. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

4.1 Лабораторная работа № 1, часть 1

Вычисление объемов электропотребления и показателей электрических нагрузок с использованием фактических показаний счётчиков электрической энергии

Цель работы: при помощи номинальных параметров электроустановки и показаний счётчиков мощностей рассчитать основные объемы электропотребления, показатели электрической нагрузки и саму нагрузку по активной, реактивной, полной мощностям и току.

Задание. По представленным в табл. 3-4 исходным данным показаний счётчика активной электрической энергии в течение суток найти:

- 1) среднюю, среднеквадратичную, расчётную часовые нагрузки;
- 2) коэффициенты: использования, формы, максимума, заполнения графика нагрузки по активной мощности ;
- 3) число часов использования максимума по активной мощности в сутки и в год;
- 4) построить график активного электропотребления и его упорядоченную диаграмму.

Пояснения и указания к выполнению работы.

1) В начале и в конце интервала наблюдения счётчик отражает электропотребление для некоторого потребителя электроэнергии (ТПС, РУ или какой-либо технологической установки, имеющей один высоковольтный ввод). При этом разность в показаниях в начале и в конце каждого интервала показывает потреблённые кВт*часы в масштабе коэффициентов трансформации трансформатора напряжения (ТН) и трансформатора тока (ТТ), т.е. для получения реальных, а не масштабированных кВт*часов нужно полученную между показаниями ТН и ТТ разность умножить на $K_{тн}$ и $K_{тт}$ (на оба коэффициента). Поскольку интервал наблюдения равен одному часу, то потреблённые кВт*часы совпадают с мощностью в кВт. Если интервал получасовой, то для получения мощности разность следует умножить на 2, если двухчасовой – то на 0,5 и т.д.

2) Кроме того, что нужно рассчитать в первой части задания (для активной мощности), необходимо найти коэффициенты мощности активной ($\cos \varphi_p$, $\cos \varphi_c$); при расчётах показателей нагрузки по реактивной мощности ($\tan \varphi_p$, $\tan \varphi_c$), коэффициент максимума G_m по полной мощности, используя результаты расчёта первой части.

3) График электропотребления строится как функция $W_a=f(t)$ для активной и $W_p=f(t)$ – для реактивной электроэнергии.

4) Показатели графиков электропотребления обозначаются для активной мощности буквами k, K ; для реактивной мощности – буквами l, L (коэффициенты индивидуальные и групповые соответственно).

5) Часы максимума нагрузки устанавливаются энергосистемой. В Тюменэнерго утренний максимум установлен 7 – 9 часов, вечерний максимум – 17 – 20 часов.

6) Упорядоченная диаграмма – отсортированный по возрастанию или по убыванию график электрических нагрузок или электропотребления.

Ход работы.

1. Вычисление объема электропотребления.

Используя данные показаний счетчиков электрической энергии, а именно значения их в конце периода наблюдений и в начале этого же периода, путем нахождения разности этих значений получаем искомую величину потребленной электроэнергии за определенный период. Для примера рассмотрим табл. 3, строку данных первую. Длина интервала – 1 час, показания счетчика электроэнергии в конце интервала – 5116,7; в начале интервала – 5114, 34. Разность показаний находится простым арифметическим действием. С помощью ППП Microsoft Excell устанавливаем курсор в соответствующую клетку в столбце «Разность» и вводим знак «=» для обозначения дальнейшего ввода формулы, которая будет состоять из номера клетки показаний конца интервала, знака «-» и номера клетки начала показаний для данной строки.

2. Расчет электропотребления за период, трансформаторы тока и трансформаторы напряжения, коэффициенты $k_{т\tau}$ и $k_{тн}$.

Для безопасности измерительных приборов и персонала реальные значения напряжений и токов понижаются до стандартных: ток 5 А, напряжение 100 В. Для этой цели служат соответственно трансформаторы тока и трансформаторы напряжения. Первичные токи и напряжения в них соответствуют реальным значениям токов и напряжений, а вторичные соответственно 5 А и 100 В. Обмотки тока и напряжения счетчиков ЭЭ подключаются к этим трансформаторам. В связи с этим для получения реальных значений электропотребления за определенный период времени разность показаний счетчиков должна быть умножена на коэффициенты трансформаторов тока и напряжения.

Например, счетчик подключен к ТТ 500/5 и ТН 10000/100. Разность показаний за какой-то период времени составляет 2,5 кВт/ч. Реальное электропотребление за этот период составляет $T = 2,5 \times 500/5 \times 10000/100 = 25000 \text{ кВт/ч}$.

3. Расчет вспомогательных величин.

После заполнения столбцов, кроме последнего, табл. 3 вычисленными значениями, находим вспомогательную величину «квадрат нагрузки»

путем возведения во вторую степень значения столбца $P_{\text{часовая}}$. Значения этого параметра потребуются для дальнейших расчетов, а именно для вычисления характеристик ГЭН – среднеквадратичной нагрузки и коэффициента формы.

4. Суммирование электропотребления по периодам.

Для вычисления электропотребления за весь рассматриваемый период времени, а именно 24 часа или 1 сутки, суммируем значения столбца $P_{\text{часовая}}$, используя функцию суммирования Excel и сохраняем его в клетке на пересечении этого столбца и строки «суточное потребление». Остальные клетки этой строки заполнять не следует.

5. Нахождение показателей графика электропотребления

5.1 Номинальные, средние, среднеквадратичные, расчетные значения.

5.1.1 Строка «средняя нагрузка». Значение средней нагрузки вычисляется путем нахождения среднего арифметического значений столбца таблицы $P_{\text{часовая}}$ либо с помощью функции Excel «среднее», либо делением значения клетки «суточное электропотребление» на 24 и сохраняется в соответствующей клетке таблицы 3. Остальные клетки этой строки заполнять также не следует.

5.1.2 Строка «среднеквадратичная нагрузка». Значение среднеквадратичной нагрузки вычисляется путем нахождения среднего арифметического значений столбца таблицы «Сумма квадратов» аналогично п. 5.1.1 и сохраняется в соответствующей клетке таблицы 3. Остальные клетки этой строки заполнять также не следует.

5.1.3 Строка «Расчетная нагрузка».

Анализируя столбец таблицы $P_{\text{часовая}}$, находим по строкам наибольшее значение и сохраняем его в клетке P_r «расчетная нагрузка». Это максимальная нагрузка по активной мощности за весь период наблюдений.

5.2 Определение показателей ГЭН - коэффициентов использования, формы, максимума, заполнения графика нагрузки.

5.2.1 Вычисленное значение средней активной мощности P_c и заданное значения номинальной активной мощности P_n используем для вычисления коэффициентов использования по активной мощности k_i с помощью соответствующей формулы, сохраняем в итоговой клетке таблицы.

5.2.2 Вычисленные значения средней активной мощности P_c и среднеквадратичной активной мощности $P_{\text{ск}}$ используем для вычисления коэффициента формы графика по активной мощности k_f с помощью соответствующей формулы, сохраняем в итоговой клетке таблицы.

5.2.3 Вычисленные значения расчетной активной мощности P_r , средней активной мощности P_c и среднеквадратичной активной мощности $P_{\text{ск}}$ используем для вычисления коэффициента максимума по активной

мощности k_m , коэффициента спроса по активной мощности k_s коэффициента заполнения графика нагрузки по активной мощности k_{zg} с помощью приведенных в таблице формул, сохраняем их значения в соответствующих итоговых клетках таблицы.

6. Определение максимума энергосистемы, числа часов использования максимума. Часы максимума, установленные Тюменэнерго: утренний максимум 7 – 9 часов; вечерний максимум – 17 – 20 часов.

Формулы, используемые для расчетов.

- Суточное электропотребление (см. п.4);
- Средняя нагрузка P_c (см.п.5.1.1);
- Среднеквадратичная нагрузка $P_{ск}$ (см. п.5.1.2);
- Коэффициент использования $K_u = P_c / P_n$;
- Коэффициент формы $K_f = P_{ск} / P_c$;
- Расчетная нагрузка P_r (см.п.5.1.3);
- Коэффициент максимума $K_m = P_r / P_c$;
- Коэффициент спроса $K_s = P_r / P_n$;
- Коэффициент заполнения графика нагрузки $K_{zg} = P_c / P_r$;
- Расчетная нагрузка в часы максимума энергосистемы $P_{р\max}$. Это максимальное электропотребление в часы максимума энергосистемы;
- Число часов использования максимума нагрузки в сутки, в год T_m
 $T_m = (K_u / K_m) * T_p$, где T_p – фонд рабочего времени (сутки, месяц, год) для предприятий, имеющих непрерывный режим работы

Таблица 22

Исходные данные лабораторной работы №1, часть 1

$P_n=3560$ кВт	Вариант 1						
Начало интервала	Конец инт.	Показания начала	Показания конца	Разность	$K_{тн}$ 10000/100	$K_{тт}$ 100/5	$R_{часовая}$
0	1	5114,34	5115,76		100	20	0
1	2	5115,76	5116,84		100	20	0
2	3	5116,84	5118,04		100	20	0
3	4	5118,04	5119,12		100	20	0
4	5	5119,12	5120,44		100	20	0
5	6	5120,44	5121,77		100	20	0
6	7	5121,77	5122,88		100	20	0
7	8	5122,88	5123,94		100	20	0
8	9	5123,94	5125,45		100	20	0
9	10	5125,45	5126,76		100	20	0
10	11	5126,76	5128,01		100	20	0
11	12	5128,01	5129,44		100	20	0
12	13	5129,44	5130,68		100	20	0

13	14	5130,68	5131,96		100	20	0
14	15	5131,96	5133,41		100	20	0
15	16	5133,41	5134,88		100	20	0
16	17	5134,88	5136,36		100	20	0
17	18	5136,36	5137,84		100	20	0
18	19	5137,84	5139,37		100	20	0
19	20	5139,37	5140,64		100	20	0
20	21	5140,64	5141,98		100	20	0
21	22	5141,98	5143,27		100	20	0
22	23	5143,27	5144,49		100	20	0
23	24	5144,49	5145,64		100	20	0
			Сумма				

Таблица 23

Результаты расчетов лабораторной работы №1, часть 1

Наименование показателя	Обозначение	Результаты вычислений
Среднее электропотребление	P_c	
Сумма квадратов		
Сумма квадратов, деленная на 24 (среднекв. электропотр)		
Коэффициент использования $K_i = P_c / P_n$	K_i	
Коэффициент формы $K_f = P_{ск} / P_c$	K_f	
Расчетная нагрузка	P_p	
Коэффициент максимума $K_m = P_p / P_c$	K_m	
Коэффициент спроса $K_c = P_p / P_n$	K_c	
Коэффициент заполнения графика нагрузки $K_{зг} = P_c / P_p$	$K_{зг}$	
Расчетная нагрузка в часы максимума энергосистемы $P_{рмкс}$	$P_{рмкс}$	
Число часов использования максимума нагрузки в сутк	T_m (сутки)	
Число часов использования максимума нагрузки в год	T_m (год)	

В таблицах 24-26 приведены аналогичные числовые данные по активному электропотреблению для расчетов по нескольким вариантам.

Таблица 24

Вариант 2 $P_n = 3300$ кВт				
Показания начала	Показания конца	Разность	$K_{тн} 10000/100$	$K_{тт} 150/5$
321,35	322,21	0,86	100	30
322,21	322,97	0,76	100	30
322,97	323,58	0,61	100	30
323,58	324,24	0,66	100	30

Окончание таблицы 24

324,24	324,89	0,65	100	30
324,89	325,64	0,75	100	30
325,64	326,25	0,61	100	30
326,25	326,91	0,66	100	30
326,91	327,61	0,7	100	30
327,61	328,54	0,93	100	30
328,54	329,29	0,75	100	30
329,29	330,07	0,78	100	30
330,07	330,81	0,74	100	30
330,81	331,54	0,73	100	30
331,54	332,38	0,84	100	30
332,38	333,17	0,79	100	30
333,17	334	0,83	100	30
334	334,81	0,81	100	30
334,81	335,65	0,84	100	30
335,65	336,45	0,8	100	30
336,45	337,39	0,94	100	30
337,39	338,31	0,92	100	30
338,31	339,21	0,9	100	30
339,21	340,08	0,87	100	30

Таблица 25

Вариант 3 Р _Н =3900 кВт				
Показания начала	Показания кон- ца	Разность	Ктн 10000/100	Ктт 150/5
1321,15	1322,31	1,16	100	30
1322,31	1323,45	1,14	100	30
1323,45	1324,51	1,06	100	30
1324,51	1325,6	1,09	100	30
1325,6	1326,65	1,05	100	30
1326,65	1327,62	0,97	100	30
1327,62	1328,6	0,98	100	30
1328,6	1329,57	0,97	100	30
1329,57	1330,53	0,96	100	30
1330,53	1331,55	1,02	100	30
1331,55	1332,54	0,99	100	30
1332,54	1333,57	1,03	100	30
1333,57	1334,62	1,05	100	30
1334,62	1335,66	1,04	100	30

Окончание таблицы 25

1335,66	1336,73	1,07	100	30
1336,73	1337,81	1,08	100	30
1337,81	1338,91	1,1	100	30
1338,91	1339,99	1,08	100	30
1339,99	1341,11	1,12	100	30
1341,11	1342,24	1,13	100	30
1342,24	1343,37	1,13	100	30
1343,37	1344,56	1,19	100	30
1344,56	1345,64	1,08	100	30
1345,64	1346,78	1,14	100	30

Таблица 26

Вариант 4 Р _Н =2900 кВт				
Показания начала	Показания кон- ца	Разность	К _{тн} 6000/100	К _{тт} 200/5
17655,04	17656,05	1,01	60	40
17656,05	17656,87	0,82	60	40
17656,87	17657,77	0,9	60	40
17657,77	17658,65	0,88	60	40
17658,65	17659,72	1,07	60	40
17659,72	17660,81	1,09	60	40
17660,81	17662,01	1,2	60	40
17662,01	17663,09	1,08	60	40
17663,09	17664,19	1,1	60	40
17664,19	17665,31	1,12	60	40
17665,31	17666,41	1,1	60	40
17666,41	17667,38	0,97	60	40
17667,38	17668,41	1,03	60	40
17668,41	17669,5	1,09	60	40
17669,5	17670,5	1	60	40
17670,5	17671,48	0,98	60	40
17671,48	17672,52	1,04	60	40
17672,52	17673,61	1,09	60	40
17673,61	17674,78	1,17	60	40
17674,78	17675,89	1,11	60	40
17675,89	17676,99	1,1	60	40
17676,99	17678,08	1,09	60	40
17678,08	17679,1	1,02	60	40
17679,1	17680,13	1,03	60	40

4.2 Лабораторная работа № 1, часть 2

Вычисление объемов электропотребления и показателей электрических нагрузок с использованием фактических показаний счётчиков электрической энергии.

Цель работы: при помощи номинальных параметров электроустановки и показаний счётчиков мощностей рассчитать основные объемы электропотребления, показатели электрической нагрузки и саму нагрузку по реактивной, полной мощностям и току.

Задание. По представленным в табл. 4 исходным данным и результатам расчетов в части 1 данной работы найти:

- 1) среднюю, среднеквадратичную, расчётную часовые нагрузки по реактивной мощности;
- 2) коэффициенты: использования, формы, максимума, заполнения графика нагрузки по реактивной и полной мощности ;
- 3) число часов использования максимума по реактивной мощности в сутки и в год;
- 4) построить график электропотребления по реактивной мощности и его упорядоченную диаграмму.

Пояснения и указания к выполнению работы, ход работы берутся и используются по описанию части 1 данной работы.

Формулы, используемые для расчетов

Суточное потребление

Средняя нагрузка Q_c

Среднеквадратичная нагрузка $Q_{ск}$

Коэффициент использования $L_i = Q_c / Q_n$

Коэффициент формы $L_f = Q_{ск} / Q_c$

Расчетная нагрузка Q

Коэффициент максимума $L_m = L_m = Q_p / Q_c$

Коэффициент спроса $L_c = Q_p / Q_n$

Коэффициент заполнения графика нагрузки $L_{зг} = Q_c / Q_p$

Расчетная нагрузка в часы максимума энергосистемы $Q_{р\max}$

Число часов использования максимума нагрузки в сутки

Число часов использования максимума нагрузки в год

Полная расчетная мощность $S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$

Полная средняя мощность $S_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2}$

Коэффициент максимума по полной мощности $G_m = S_p / S_c$

Коэффициент мощности по средней нагрузке $\cos \varphi_c = P_c / S_c$

Коэффициент мощности по расчетной нагрузке $\cos \varphi_p = P_p / S_p$

Коэффициент реактивной мощности по средней нагрузке $\tan \varphi_c = Q_c / P_c$

Исходные данные лабораторной работы №1, часть 2

Вар. 1 Рн = 3560 кВт	Qн = 2250 квар							
Начало интерва- ла	Конец интер- вала	Показа- ния начала	Пока- ания конца	Раз- ность	Ктн 10000/ 100	Ктт 100/5	Qчасовая, кВт	Квад-рат нагрузки
0	1	182,34	182,96	0,62	100	20	1240	1537600
1	2	182,96	183,53	0,57	100	20	1140	1299600
2	3	183,53	184,11	0,58	100	20	1160	1345600
3	4	184,11	184,66	0,55	100	20	1100	1210000
4	5	184,66	185,27	0,61	100	20	1220	1488400
5	6	185,27	185,91	0,64	100	20	1280	1638400
6	7	185,91	186,58	0,67	100	20	1340	1795600
7	8	186,58	187,23	0,65	100	20	1300	1690000
8	9	187,23	187,91	0,68	100	20	1360	1849600
9	10	187,91	188,55	0,64	100	20	1280	1638400
10	11	188,55	189,11	0,56	100	20	1120	1254400
11	12	189,11	189,69	0,58	100	20	1160	1345600
12	13	189,69	190,21	0,52	100	20	1040	1081600
13	14	190,21	190,8	0,59	100	20	1180	1392400
14	15	190,8	191,41	0,61	100	20	1220	1488400
15	16	191,41	192,08	0,67	100	20	1340	1795600
16	17	192,08	192,71	0,63	100	20	1260	1587600
17	18	192,71	193,31	0,6	100	20	1200	1440000
18	19	193,31	194,02	0,71	100	20	1420	2016400
19	20	194,02	194,74	0,72	100	20	1440	2073600
20	21	194,74	195,45	0,71	100	20	1420	2016400
21	22	195,45	196,16	0,71	100	20	1420	2016400
22	23	196,16	196,84	0,68	100	20	1360	1849600
23	24	196,84	197,48	0,64	100	20	1280	1638400
Суточ- ное по- требле- ние э/э								

Коэффициент реактивной мощности по расчетной нагрузке $\operatorname{tg} \varphi_p = Q_p/P_p$
 Полная средняя мощность $S_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2}$

Коэффициент максимума по полной мощности $G_m = S_p/S_c$

Коэффициент мощности по средней нагрузке $\cos \varphi_c = P_c/S_c$

Коэффициент мощности по расчетной нагрузке $\cos \varphi_p = P_p/S_p$

Коэффициент реактивной мощности по средней нагрузке $\operatorname{tg} \varphi_c = Q_c/P_c$

Коэффициент реактивной мощности по расчетной нагрузке $\operatorname{tg} \varphi_p = Q_p/P_p$

Примерные вопросы к защите лабораторной работы №1

1. Как определить электропотребление (реальные и масштабированные потреблённые кВт*часы)?
2. Какую роль играют ТН и ТТ при определении электропотребления?
3. Что означает масштаб коэффициентов трансформации ТН и ТТ?
4. В каком случае потреблённые кВт*часы совпадают с мощностью в кВт?
5. Если интервал наблюдения равен одному часу, как определить мощность? Если интервал наблюдения получасовой? А если двухчасовой?
6. График электропотребления по активной энергии и реактивной мощности являются функцией чего?
7. Как строится упорядоченная диаграмма?

Таблица 28

Результаты расчетов лабораторной работы №1, часть 2

Наименование показателя	Обозначение	Результаты вычислений
Сумма квадратов		
Сумма квадратов, деленная на 24		
Среднеквадратичная нагрузка		
Коэффициент использования $L_{и}=Q_{с}/Q_{н}$		
Коэффициент формы $L_{ф}=P_{ск}/P_{с}$		
Расчетная нагрузка		
Коэффициент максимума $L_{м}=Q_{р}/Q_{с}$		
Коэффициент спроса $L_{с}=Q_{р}/Q_{н}$		
Коэффициент заполнения графика нагрузки $Q_{зг}=Q_{с}/Q_{р}$		
Расчетная нагрузка в часы максимума энергосистемы $Q_{р\max}$		
Число часов использования максимума нагрузки в сутки		
Число часов использования максимума нагрузки в год		
Полная расчетная мощность $S_{р}$		
Полная средняя мощность $S_{с}$		
Коэффициент максимума по полной мощности		
Коэффициент мощности по средней нагрузке		
Коэффициент мощности по расчетной нагрузке		
Коэффициент реактивной мощности по средней нагрузке		
Коэффициент реактивной мощности по расчетной нагрузке		

В таблицах 29-31 приведены аналогичные числовые данные по реактивному электропотреблению для расчетов по нескольким вариантам.

Таблица 29

Вариант 2 Q _н =800 квар				
Показания начала	Показания кон- ца	Разность	К _{тн} 10000/100	К _{тт} 150/5
21,35	21,41	0,06	100	30
21,41	21,5	0,09	100	30
21,5	21,58	0,08	100	30
21,58	21,67	0,09	100	30
21,67	21,77	0,1	100	30
21,77	21,89	0,12	100	30
21,89	22	0,11	100	30
22	22,12	0,12	100	30
22,12	22,23	0,11	100	30
22,23	22,36	0,13	100	30
22,36	22,51	0,15	100	30
22,51	22,65	0,14	100	30
22,65	22,79	0,14	100	30
22,79	22,96	0,17	100	30
22,96	23,14	0,18	100	30
23,14	23,32	0,18	100	30
23,32	23,51	0,19	100	30
23,51	23,65	0,14	100	30
23,65	23,79	0,14	100	30
23,79	23,92	0,13	100	30
23,92	24,1	0,18	100	30
24,1	24,23	0,13	100	30
24,23	24,35	0,12	100	30
24,35	24,44	0,09	100	30

Таблица 30

Вариант 3 Q _н =1500 квар				
Показания начала	Показания кон- ца	Разность	К _{тн} 10000/100	К _{тт} 50/5
321,15	322,31	1,16	100	10
322,31	323,45	1,14	100	10
323,45	324,51	1,06	100	10
324,51	325,6	1,09	100	10
325,6	326,65	1,05	100	10
326,65	327,62	0,97	100	10
327,62	328,6	0,98	100	10

Окончание таблицы 30

328,6	329,57	0,97	100	10
329,57	330,53	0,96	100	10
330,53	331,55	1,02	100	10
331,55	332,54	0,99	100	10
332,54	333,57	1,03	100	10
333,57	334,62	1,05	100	10
334,62	335,66	1,04	100	10
335,66	336,73	1,07	100	10
336,73	337,81	1,08	100	10
337,81	338,91	1,1	100	10
338,91	339,99	1,08	100	10
339,99	341,11	1,12	100	10
341,11	342,24	1,13	100	10
342,24	343,37	1,13	100	10
343,37	344,56	1,19	100	10
344,56	345,64	1,08	100	10
345,64	346,78	1,14	100	10

Таблица 31

Вариант 4 Qн=900 квар				
Показания начала	Показания конца	Разность	Ктн 6000/100	Ктт 40/5
17655,04	17656,05	1,01	60	8
17656,05	17656,87	0,82	60	8
17656,87	17657,77	0,9	60	8
17657,77	17658,65	0,88	60	8
17658,65	17659,72	1,07	60	8
17659,72	17660,81	1,09	60	8
17660,81	17662,01	1,2	60	8
17662,01	17663,09	1,08	60	8
17663,09	17664,19	1,1	60	8
17664,19	17665,31	1,12	60	8
17665,31	17666,41	1,1	60	8
17666,41	17667,38	0,97	60	8
17667,38	17668,41	1,03	60	8
17668,41	17669,5	1,09	60	8
17669,5	17670,5	1	60	8
17670,5	17671,48	0,98	60	8
17671,48	17672,52	1,04	60	8
17672,52	17673,61	1,09	60	8
17673,61	17674,78	1,17	60	8
17674,78	17675,89	1,11	60	8
17675,89	17676,99	1,1	60	8
17676,99	17678,08	1,09	60	8
17678,08	17679,1	1,02	60	8
17679,1	17680,13	1,03	60	8

4.3 Лабораторная работа №2

Определение объемов электропотребления и средних нагрузок по активной, реактивной, полной мощностям и току для электроприёмников общепромышленного назначения

Цель работы: при помощи номинальных параметров электроустановок и заданных коэффициентов использования и коэффициентов мощности рассчитать объемы электропотребления и средние нагрузки групп различных ЭП по активной, реактивной, полной мощностям и току

Задание.

Определить методом коэффициента использования объемы электропотребления и средние нагрузки по активной, реактивной, полной мощностям и ток на каждой стороне напряжения трансформатора.

Коэффициент использования по реактивной мощности Li принять равным коэффициенту использования по активной мощности Ki .

Указания и пояснения к выполнению работы

Электроприемником (ЭП) является любой агрегат, механизм, аппарат, предназначенный для преобразования электрической в любой другой вид энергии.

Потребитель электрической энергии э/э – ЭП или группа ЭП, объединенных технологическим процессом и размещающихся на определенной территории.

1 и основная группа - электродвигатели (электромашин). В установках, не требующих регулирования скорости, применяются э/приводы переменного тока (АД мощностью до 630 кВт и синхронные до 30 МВт). Это основной вид ЭП в промышленности (до 70 % суммарной мощности). ЭД – э/двигатель от 0,25 кВт и выше. Ниже 0,25 кВт – средства автоматики.

2 группа – электротехнологические и электротермические установки (около 20 %). Это печи сопротивления косвенного и прямого действия, дуговые и индукционные печи, установки диэлектрического нагрева, сварка, электролизные и гальванические и высоковольтные статические установки. 1 и 2 группы имеют общее название «силовая нагрузка»

2 обязательная группа – электроосвещение (до десятков %). Установки электроосвещения с лампами накаливания, люминесцентными, ртутными, дуговыми, натриевыми и ксеноновыми применяются на всех предприятиях для внутреннего и наружного освещения.

4 группа – устройства обработки информации. Электропотребление незначительно, но предъявляются особые требования к надежности электроснабжения и качеству напряжения.

Примером электропотребителей общепромышленного назначения является цех металлорежущих станков различных типов. Он относится к низковольтным потребителям электрической энергии, т.к. для его нормального функционирования используется напряжение 0,4 кВ. Режущие механизмы данного оборудования имеют электрический привод, т.е. для своей работы используют механический момент, снимаемый с вала асинхронного электродвигателя. Низковольтные асинхронные электродвигатели и являются непосредственными потребителями электрической энергии в данном производственном цехе. Помимо основного оборудования цеха потребителями электроэнергии в нем являются осветительные, обогревательные и терморегулирующие установки. Электрическая энергия, потребляемая ими непосредственно от сети промышленного электроснабжения, преобразуется в тепловую (термостаты и лампы накаливания), осветительную (лампы накаливания всех типов), механическую (вентиляторы). В условии задачи приведены данные номинальных активных мощностей каждого электроприемника, их количество в каждой из групп, заданы коэффициенты использования и мощности по группам ЭП, а также количестве ЭП по каждой группе. Цех низковольтного оборудования питается от комплектной трансформаторной подстанции КТП 10/0,4 кВ.

Внимание! Результат расчёта токовых нагрузок должен быть выражен в амперах А, а единицы измерения других параметров обычно задаются с приставкой «кило» или «мега». Поэтому при расчёте нагрузок необходимо следить за порядком чисел при переводе кВт в Вт, кВ в В и урегулировать ед. измерения с тем, чтобы все значения тока (средние, расчётные и т.д.) были получены в амперах (А) !

Ход работы

1) Вычисление полной номинальной мощности групп ЭП S_n .

Для этого используем данные номинальных активных P_n мощностей ЭП (указываемых в паспортных данных электроприемника), их количество в каждой из групп и коэффициентов мощности ($\cos \phi$), результаты вычислений заносим в соответствующие клетки таблицы в столбце S_n . В итоговой клетке данного столбца суммируем вычисленные полные мощности всех групп ЭП.

2) Вычисление реактивной номинальной мощности групп ЭП Q_n . Для этого используем данные номинальных активных и вычисленных полных мощностей ЭП. Вычисленные данные реактивной мощности по группам ЭП суммируем и заносим в итоговые клетки таблицы, при суммирова-

нии используем значения коэффициентов мощности для различных групп ЭП. Итоговые сохраняем в соответствующих клетках таблицы данных и вычислений.

3) Вычисление средних значений активной, реактивной полной мощностей групп ЭП. Помимо перечисленных в п.п.1 и 2 данных, используем значения коэффициентов использования по активной и реактивной мощностям.

4) Вычисление токовых нагрузок проводим по линиям, подводящим к первичной обмотке понижающего трансформатора 10/0,4 и отходящим от вторичной обмотки, питающих непосредственно цех металлорежущих станков, т.е. для получения результатов расчета токов на разных сторонах напряжения трансформатора используем в формуле два различных значения напряжения (10 кВ и 0,4 кВ) .

5) Результаты вычислений по группам ЭП сохраняем в таблице в соответствующих клетках по строкам, итоговые данные по электрическим нагрузкам цеха в целом суммируем и заносим в итоговые клетки по столбцам мощностей (3 столбца) и токов (2 столбца).

Формулы, используемые для расчетов

Вычисление полной потребляемой мощности групп ЭП с использованием паспортных данных оборудования и количества его единиц в каждой группе

$$S_n = P_n \cdot N / \cos \phi, \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

Вычисление реактивной потребляемой мощности групп ЭП с использованием паспортных данных оборудования, количества его единиц в каждой группе и результатов предыдущих расчетов

$$Q_n = \sqrt{(S_n^2 - P_n^2 \cdot N^2)}, \text{ кВАр}$$

Вычисление средней активной потребляемой мощности групп ЭП с использованием паспортных данных оборудования, количества его единиц в каждой группе и данных коэффициента использования

$$P_{\text{ср}} = K_{\text{и}} \cdot P_n \cdot N, \text{ кВт}$$

Вычисление силы тока, I , на сторонах напряжения $U=6(10) \text{ кВ}$ или $U=0,4 \text{ кВ}$

$$I = S \cdot 1000 / \sqrt{3} \cdot U, \text{ А}$$

Примерные вопросы для защиты лабораторной работы №2

1. Какими методами определяется электропотребление (активное, реактивное) ?

2. Как определяется среднеквадратичная нагрузка?

3. Напишите формулу коэффициента использования.
4. Поясните, почему у ряда электроприемников (некоторых типов светильников, термостатов) коэффициент мощности равен 1?

Таблица 32

Исходные данные лабораторной работы № 2

Наименование электропотребителя	$P_n, \text{кВт}$	K_i	$\cos \phi_i$	Кол-во N , шт.
Металлорежущий станок 1 типа	17,2	0,38	0,77	6
Металлорежущий станок 2 типа	14,1	0,41	0,76	4
Металлорежущий станок 3 типа	22,6	0,48	0,79	7
Металлорежущий станок 4 типа	11,6	0,39	0,71	11
Светильники 1 типа	0,8	0,42	1	36
Светильники 2 типа	1,2	0,44	1	24
Светильники 3 типа	1,4	0,45	0,98	16
Вентиляторы 1 типа	3,5	0,27	0,72	6
Вентиляторы 2 типа	2,8	0,32	0,71	5
Вентиляторы 3 типа	4,5	0,31	0,75	4
Термостат 1 типа	2,4	0,77	1	6
Термостат 2 типа	4,2	0,81	1	4
суммы				

Результаты вычислений по потребителям, перечисленным в левой колонке таблицы, оформить в следующем виде, с продолжением таблицы по строкам:

Таблица 33

Результаты расчетов лабораторной работы № 2

Результаты вычислений по потребителям						
$S = P_n \cdot N / \cos \phi$, кВт*А	Q_n , квар	$P_{ср}$, кВт	$Q_{ср}$, квар	$S_{ср}$, кВА	ток I на стороне $U=0,4\text{кВ}$, А;	ток I на стороне $U=10\text{кВ}$, А

4.4 Лабораторная работа №3

Определение объемов электропотребления и средних нагрузок по активной, реактивной, полной мощностям и току для электроприёмников нефтяной промышленности

Цель работы: при помощи технологических параметров добывающих кустов скважин рассчитать объемы электропотребления и средние нагрузки кустов скважин по активной, реактивной, полной мощностям и току.

Задание.

Определить методом коэффициента использования объемы электропотребления и средние нагрузки по активной, реактивной, полной мощностям каждого куста скважин, оборудованных электроцентробежными насосами (ЭЦН) и ток на каждой стороне напряжения питающей подстанций 35/6 кВ 2Х25 МВА, промежуточной подстанции 6/0,4 кВ.

Указания и пояснения к выполнению работы

Примером электропотребителей специального назначения являются скважинные электродвигатели, они относятся к низковольтным потребителям электрической энергии, т.к. для его нормального функционирования используется напряжение 0,4 кВ. питаемые рабочим напряжением через скважинный трансформатор, который преобразует входное напряжение 0,4 кВ в рабочее напряжение, необходимое для данных условий эксплуатации. Рабочее напряжение устанавливается либо автоматически, либо вручную оператором с помощью многоступенчатого переключателя напряжений. Автоматическое и ручное переключение осуществляется в зависимости от величины изменяющегося тока нагрузка, т. е. дебита скважины. Электрическая цепь электродвигатель является последовательным соединением собственно электродвигателя и скважинного трансформатора, соединенных электрическим кабелем.

Дебит скважины, $q_{ср}$, – это её производительность или объём добываемой жидкости, куб.м/ед. времени;

динамический уровень, $H_{дин}$ – уровень жидкости в скважине;

средневзвешенный $\cos \varphi$ – величина, определяемая по формуле:

$$\cos \varphi = (\sum_{i=1}^n \cos \varphi_i * P_{Hi}) / \sum_{i=1}^n P_{Hi} ;$$

средневзвешенный к.п.д определяется аналогично;

куст скважин - группа буровых или добывающих нефтяных скважин, географически сосредоточенных на локальном участке.

На технологическом комплексе (площадке) имеется 20 кустов с разным количеством скважин на каждом из них. Динамические уровни скважин, КПД добычи, $\cos \varphi$ средневзвешены через дебит по каждому кусту.

$KПД_{скв.} = KПД_{кол} * KПД_{нас} * KПД_{дв} * KПД_{каб} * KПД_{скв.тр-ра}$ (произведение 5 КПД – колонны, двигателя, кабеля, скважинного трансформатора 0,4/6 кВ)

Примечание.

Результат расчёта токовых нагрузок должен быть выражен в А. Поэтому при расчёте нагрузок необходимо следить за порядком чисел при переводе кВт в Вт, кВ в В и урегулировать ед. измерения с тем, чтобы все значения тока (средние, расчётные и т.д.) были получены в А!

Задание.

Коэффициент использования по реактивной мощности принять равным коэффициенту использования по активной мощности.

Примером электропотребителей являются погружные электродвигатели различных типов.

Внимание! Результат расчёта токовых нагрузок должен быть выражен в амперах А, а единицы измерения других параметров обычно задаются с приставкой «кило» или «мега». Поэтому при расчёте нагрузок необходимо следить за порядком чисел при переводе кВт в Вт, кВ в В и урегулировать ед. измерения с тем, чтобы все значения тока (средние, расчётные и т.д.) были получены в амперах (А)!

Ход работы

1) Вычисление полной номинальной мощности групп ЭП S_n .

Для этого используем данные номинальных активных мощностей ЭП, их количество в каждой из групп и коэффициентов мощности ($\cos \phi$), результаты вычислений заносим в соответствующие клетки таблицы в столбце S_n . В итоговой клетке данного столбца суммируем вычисленные полные мощности всех групп ЭП.

2) Вычисление реактивной номинальной мощности групп ЭП Q_n . Для этого используем данные номинальных активных и вычисленных полных мощностей ЭП. Вычисленные данные реактивной мощности по группам ЭП суммируем и заносим в итоговые клетки таблицы, при суммировании используем значения коэффициентов мощности для различных групп ЭП. итоговые сохраняем в соответствующих клетках таблицы данных и вычислений.

3) Вычисление средних значений активной, реактивной полной мощностей групп ЭП. Помимо перечисленных в п.п.1 и 2 данных, используем значения коэффициентов использования по активной и реактивной мощностям.

4) Вычисление токовых нагрузок проводим по линиям, подводящим к первичной обмотке понижающего трансформатора 10/0,4 и отходящим от вторичной обмотки, питающих непосредственно цех металлорежущих станков, т.е. для получения результатов расчета токов на разных сторонах напряжения трансформатора используем в формуле два различных значения напряжения (10 кВ и 0,4 кВ) .

5) Результаты вычислений по группам ЭП сохраняем в таблице в соответствующих клетках по строкам, итоговые данные по электрическим нагрузкам цеха в целом суммируем и заносим в итоговые клетки по столбцам мощностей (3 столбца) и токов (2 столбца).

Формулы, используемые для расчетов:

- Вычисление полной потребляемой мощности групп ЭП с использованием паспортных данных оборудования и количества его единиц в каждой группе

$$S_n = P_n * N / \cos \phi, \text{ кВ} * \text{А};$$

- Вычисление реактивной потребляемой мощности групп ЭП с использованием паспортных данных оборудования, количества его единиц в каждой группе и результатов предыдущих расчетов

$$Q_n = \sqrt{(S_n^2 - (P_n * N)^2)}, \text{ квар};$$

- Вычисление средней активной потребляемой мощности групп ЭП с использованием паспортных данных оборудования, количества его единиц в каждой группе и данных коэффициента использования

$$P_{ср} = K_u * P_n * N, \text{ кВт};$$

- Вычисление удельного электропотребления

$$w = (2,274 * 10^{-3} * N_{дин}) / K_{ПДср};$$

- Расход электроэнергии, кВт.ч

$$W_a = w * N * q_{ср};$$

- Оценка активной мощности

$$P_{ср} = W_a, \text{ т.к. период времени принят 1 ч.}$$

- Оценка полной мощности

$$S_{ср} = P_{ср} / \cos \phi;$$

- Оценка активной мощности

$$Q_{ср} = \sqrt{(S_{ср}^2 - P_{ср}^2)} ;$$

- Сила тока на стороне напряжения U

$$I_{ср} = S_{ср} / (\sqrt{3} * U)$$

Примерные вопросы для защиты лабораторной работы №3

1. Дайте краткую характеристику графиков электропотребления нефтегазодобывающих предприятий.

2. Назовите методы определения величин электропотребления нефтегазодобывающих предприятий.

3. Обоснуйте приведенную в данных величину КПД скважины

Таблица 34

Исходные данные лабораторной работы № 3

Исходные данные					
Куст	Число добывающих скважин, шт.	Дебит скважины по жидкости, мЗч.	Средний динамический уровень, м	Средневзвешенный $\cos \varphi$	Средневзвешенный КПД
1	7	18	727	0,77	0,32
2	6	27	465	0,74	0,35
3	11	14	912	0,78	0,27
4	8	31	388	0,76	0,38
5	7	35	364	0,81	0,39
6	9	28	512	0,79	0,29
7	12	26	488	0,74	0,28
8	6	11	1045	0,75	0,22
9	11	19	772	0,75	0,26
10	4	16	656	0,74	0,25
11	5	17	611	0,77	0,25
12	3	19	522	0,74	0,25
13	3	20	506	0,75	0,25
14	7	27	493	0,75	0,29
15	8	25	477	0,76	0,27
16	12	26	468	0,73	0,27
17	10	54	297	0,84	0,41
18	7	26	602	0,77	0,28
19	6	18	744	0,74	0,21
20	8	23	506	0,76	0,26

Результаты вычислений по кустам добывающих скважин, перечисленным в левой колонке таблицы 34, оформить в следующем формате, табл.35, с продолжением таблицы результатов по строкам (приведен только заголовок таблицы!)

Таблица 35

Расчетные данные						
Удельный расход электроэнергии, кВт.ч/мЗ	Расход электроэнергии, W_a , кВт.ч/ч	Оценка активной нагрузки P , кВт	Оценка полной мощности S , кВА	Оценка реактивной нагрузки Q , квар	Ток I на стороне $U=6$ кВ, А	Ток I на стороне $U=35$ кВ, А

4.5 Лабораторная работа № 4

Определение средних нагрузок по активной, реактивной, полной мощностям и току для различных осветительных электроприёмников (освещения) в зимнее время

Цель работы: по представленным исходным данным о номинальных мощностях различных типов светильников и ламп, их количеству по каждой группе, заданным коэффициенту использования и $\cos\varphi$ научиться рассчитывать средние нагрузки по мощностям и току.

Задание

Для площадки складирования труб установлено 20 постов, оборудованных мощными светильниками различного типа. Данные по постам и светильникам представлены в таблице.

Найти средние нагрузки каждого поста, оборудованного светильниками, по активной и реактивной (для ртутных ламп) мощностям по представленным исходным данным, токи на шинах 0,4 и 6 кВ питающей подстанции 10/0,4 кВ мощностью 1х63 кВА, расход электроэнергии на каждом посту и в целом по площадке за сутки (в зимнее время)

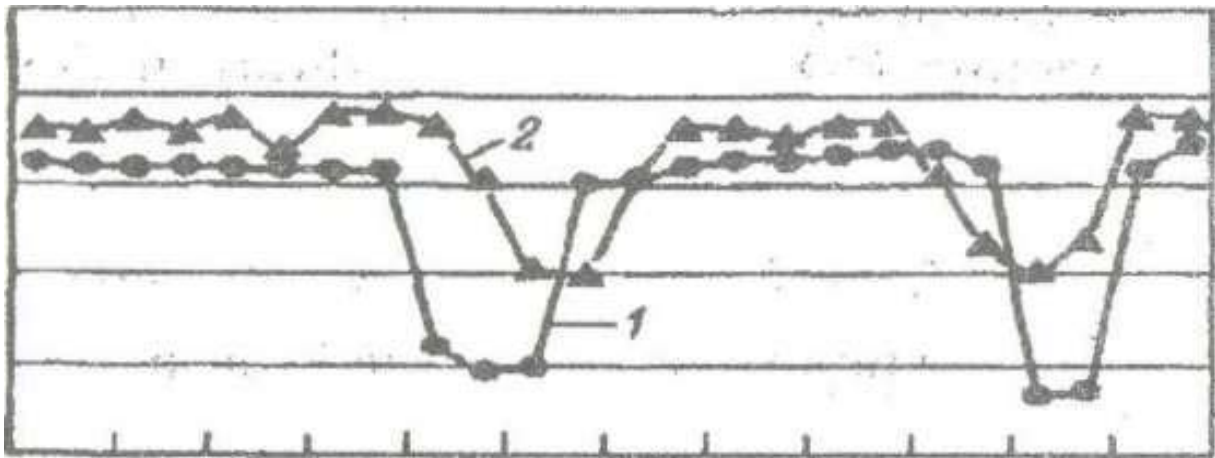


Рис. 7. График среднечасовой нагрузки летом (кривая 1) и зимой (кривая 2)

Указания

Расчётные формулы также представлены в таблице в соответствующих колонках расчётных данных.

Таблица 36

Исходные и расчетные данные лабораторной работы №4

Исходные данные										
пост	Число све- тиль- ников	Мощ- ность одного светиль- ника, Вт	Ки (де- кабрь)	Средне- взве- шенный cos φ	Расход элек- тро- энер- гии, кВт.ч/с ут.	Оценка актив- ной нагруз- ки, кВт	Оценка полной мощно- сти, кВА	Оценка реак- тивной нагруз- ки, квар	Ток на стороне 0,4 кВ, А	Ток на стороне 10 кВ, А
1	12	500	0,88	1						
2	4	1000	0,68	1						
3	4	400	0,74	0,98						
4	6	400	0,87	0,98						
5	4	500	0,72	1						
6	7	400	0,84	0,98						
7	8	150	0,96	0,97						
8	5	300	0,87	0,98						
9	3	250	0,85	0,97						
10	12	1000	0,65	1						
11	7	600	0,72	1						
12	6	300	0,74	0,97						
13	8	250	0,77	0,97						
14	4	200	0,88	0,97						
15	5	400	0,81	0,98						
16	3	1000	0,58	1						
17	14	200	0,71	0,97						
18	11	150	0,72	0,97						
19	6	1000	0,67	1						
20	7	500	0,77	1						
	N	P св.	Ки	cos φ	$W_a = K_i * P_{св} * N * 24$	$P_{ср} = W_a / 24$	$S_{ср} = P_{ср} / \cos \varphi$	$Q_{ср} = \sqrt{S_{ср}^2 - P_{ср}^2}$	$I_{ср} = S_{ср} / (\sqrt{3} * 0,4)$	$I_{ср} = S_{ср} / (\sqrt{3} * 10)$

Примерные вопросы для защиты работы №4

1. У каких типов светильников $\cos \varphi = 1$? $\cos \varphi < 1$?
2. За счёт чего электропотребление у постов, оборудованных лампами накаливания, выше, чем у энергосберегающих?
3. Как вы думаете, за счёт чего Ки у ламп накаливания ниже, чем у энергосберегающих?
4. Каков оптимальный режим использования энергосберегающих ламп?
5. Назовите способ определения средних нагрузок, применяемый Вами в данной работе.

4.6 Лабораторная работа № 5

Определение средних нагрузок по активной, реактивной, полной мощностям и току для различных осветительных электроприёмников (освещения) в летнее время

Цель работы: по представленным исходным данным (таблица 24) о номинальных мощностях различных типов светильников и ламп, их количеству по каждой группе, заданным коэффициенту использования и $\cos\varphi$ научиться рассчитывать средние нагрузки по мощностям и току.

Задание

Для площадки складирования труб установлено 20 постов, оборудованных мощными светильниками. Данные по постам и светильникам представлены в таблице 38. Расчётные формулы также представлены в таблице в соответствующих колонках расчётных данных.

Найти средние нагрузки каждого поста, оборудованного светильниками, по активной и реактивной (для ртутных ламп) мощностям по представленным исходным данным, токи на шинах 0,4 и 6 кВ питающей подстанции 10/0,4 кВ 1х63 кВА, расход электроэнергии на каждом посту и в целом по площадке за сутки (в летнее время). Летом посты №№ 4, 9, 13, 16, 17 отключены. $K_{и}$ летний отличается от $K_{и}$ зимнего за счёт использования естественного освещения.

Примерные вопросы для защиты лабораторной работы № 2

1. Что означает термин «эффективное число электроприёмников»? Среднеквадратичное? Когда оно применяется?
2. В каких случаях реальное число электроприёмников совпадает с эффективным?
3. Объясните ход кривых
4. Какой метод используется для расчёта электрических нагрузок в данной работе?
5. Как влияет время года на коэффициент использования?

72

4.7 Лабораторная работа № 6

Определение расчётных нагрузок по активной, реактивной, полной мощностям и току для различных осветительных электроприёмников (освещения) в зимнее время

Цель работы: по представленным исходным данным о номинальных мощностях различных типов светильников и ламп, их количеству по каждой группе, заданным коэффициенту использования, $\cos\varphi$ и результатам расчёта средних нагрузок научиться рассчитывать расчётные нагрузки по мощностям и току (зимнее время).

Продолжение задачи №4. Используются данные и результаты расчёта по средним нагрузкам.

Для площадки складирования труб установлено 20 постов, оборудованных мощными светильниками. Найти расчётные нагрузки каждого поста, оборудованного светильниками, по активной и реактивной (для ртутных ламп) мощностям по представленным исходным данным; токи на шинах 0,4 и 10 кВ питающей подстанции 10/0,4 кВ 1X 63кВА; расход электроэнергии на каждом посту и в целом по площадке за сутки.

Расчётные формулы также представлены в соответствующих колонках исходных и расчётных данных табл.37.

Примерные вопросы для защиты работы № 6

1. Какой метод используется для расчёта электрических нагрузок в данной работе?
2. Что означает термин «эффективное число электроприёмников»? Среднеквадратичное? Когда оно применяется?
3. В каких случаях реальное число электроприёмников совпадает с эффективным?
4. Напишите формулу для определения эффективного (среднеквадратичного) числа ЭП группы по активной и реактивной мощности
5. Объясните ход кривых зависимости коэффициента максимума нагрузки от эффективного числа ЭП при различных K_u
6. Объясните назначение этих кривых и их применение в данной работе

Исходные и расчетные данные лабораторной работы №5

Исходные данные					Расчетные данные					
по ст	Число светильн	Рн, Вт	Ки июнь	Ср.взв. cos φ	W, кВт.ч/сут.	Рр, кВт	Sp, кВА	Qp, квар	Ток при U=0,4 кВ, А	Ток при U=10 кВ, А
1	12	500	0,33	1						
2	4	1000	0,28	1						
3	4	400	0,24	0,98						
4	6	400	0	0,98						
5	4	500	0,32	1						
6	7	400	0,34	0,98						
7	8	150	0,45	0,97						
8	5	300	0,23	0,98						
9	3	250	0	0,97						
10	12	1000	0,32	1						
11	7	600	0,32	1						
12	6	300	0,34	0,97						
13	8	250	0	0,97						
14	4	200	0,38	0,97						
15	5	400	0,31	0,98						
16	3	1000	0	1						
17	14	200	0	0,97						
18	11	150	0,22	0,97						
19	6	1000	0,17	1						
20	7	500	0,22	1						

4.8 Лабораторная работа № 7

Определение расчётных нагрузок по активной, реактивной, полной мощностям и току для различных осветительных электроприёмников (освещения) в летнее время

Цель работы: по представленным исходным данным о номинальных мощностях различных типов светильников и ламп, их количеству по каждой группе, заданным коэффициенту использования, $\cos\varphi$ и результатам расчёта средних нагрузок научиться рассчитывать расчётные нагрузки по мощностям и току (летнее время).

Продолжение задачи №5. Используются данные и результаты расчёта по средним нагрузкам.

Для площадки складирования труб установлено 20 постов, оборудованных мощными светильниками. Найти расчётные нагрузки каждого поста, оборудованного светильниками, по активной и реактивной (для ртутных ламп) мощностям по представленным исходным данным; токи на шинах 0,4 и 10 кВ питающей подстанции 10/0,4 кВ 1X 63кВА; расход электроэнергии на каждом посту и в целом по площадке за сутки. Летом посты №№ 4, 9, 13, 16, 17 отключены. $K_{и}$ летний отличается от $K_{и}$ зимнего за счёт использования естественного освещения

Расчётные формулы также представлены в соответствующих колонках исходных и расчётных данных.

Примерные вопросы для защиты работы № 7

1. Какой метод используется для расчёта электрических нагрузок в данной работе?
2. Что означает термин «эффективное число электроприёмников»? Среднеквадратичное? Когда оно применяется?
3. В каких случаях реальное число электроприёмников совпадает с эффективным?
4. Напишите формулу для определения эффективного (среднеквадратичного) числа ЭП группы по активной и реактивной мощности
5. Объясните ход кривых зависимости коэффициента максимума нагрузки от эффективного числа ЭП при различных $K_{и}$
6. Объясните назначение этих кривых и их применение в данной работе
7. Как влияет время года на коэффициент использования?

Таблица 39

Исходные и расчетные данные лабораторной работы №7

Исходные данные				Средние нагрузки					Расчетные нагрузки											
По ст	Чис ло све- тиль- ников	Мо щно- сть од- ного све- тиль- ни- ка, Вт	Ки (ию нь)	Сре- дне- взве- шен- ный $\cos \varphi$	Рас- ход ЭЭ, Вт. ч/су т.	Оцен ка ак- тив- ной на- груз- ки, кВт	Оцен ка пол- ной мощ- но- сти, кВтА	Оцен- ка реак- тивной на- груз- ки, квар	Ток на сто- роне 0,4 кВ	Ток на сто- роне 10 кВ	Нск по актив- ной мощно- сти	Нск по ре- ак- тив- ной мощно- сти	Км (таб- ли- ца или гра- фик)	Lм (таб- ли- ца или гра- фик)	Rp , кВт	S, кВт А	Qp, ква р	Т ок на ст- ор он е 0, 4 к В	Т ок на ст- ор он е 10 к В	
1	12	500	0,33	1																
2	4	1000	0,28	1																
3	4	400	0,34	0,98																
4	6	400	0	0,98																
5	4	500	0,32	1																
6	7	400	0,34	0,98																
7	8	150	0,45	0,97																
8	5	300	0,23	0,98																
9	3	250	0	0,97																
10	12	1000	0,32	1																

4.9 Лабораторная работа № 8

Определение расчётных электрических нагрузок технологического комплекса по сбору, подготовке и транспортировке нефти, питающегося от автономного источника электроснабжения

Для технологического комплекса, состоящего из ДНС с УПСВ, КНС, НПС, питающихся электроэнергией от собственной автономной газотурбинной электростанции (ГТЭС) или от централизованной сети электроснабжения, определить расчётные нагрузки по каждому РУ и в целом на шинах ГТЭС.

В случае электропитания от ГТЭС предусматривается питание собственных нужд ГТЭС.

На объектах-потребителях ДНС, НПС и КНС на соответствующих площадках установлены двухтрансформаторные подстанции 6/0,4 кВ, средняя и расчётная нагрузки которых определены заранее и представлены в исходных данных, где также имеются сведения о средних и расчётных нагрузках по комплектным трансформаторным подстанциям на каждом технологическом объекте (КТП ГТЭС, КТП КНС, КТП ДНС, КТП НПС). Также заданы тип и число высоковольтных двигателей ДНС, НПС и КНС.

У объектов ДНС и КНС режим работы переменный, у НПС – график нагрузок практически постоянный. Это следует учесть при выборе методов расчёта нагрузок соответствующих объектов.

Технологические термины: КТП – комплектная трансформаторная п/с;

РУ – распределительное устройство;

КНС – кустовая насосная станция;

ДНС – дожимная насосная станция;

НПС – нефтеперекачивающая станция;

УПСВ – установка повторного сброса воды;

ГТЭС – газотурбинная электростанция.

Для проведения расчётов рекомендуется работать, руководствуясь характером графиков электрических нагрузок (ГЭН) технологических объектов и придерживаясь следующего алгоритма:

1 . Расчёт электрических нагрузок КНС. ГЭН КНС непостоянный.

1.1 Потребителями электроэнергии (ЭЭ) являются высоковольтные двигатели. Нагрузка не постоянная, вследствие чего рекомендуется воспользоваться методом вероятностного моделирования.

1.2 Расчёт электрических нагрузок распределительного устройства (РУ КНС). Здесь суммируются разнородные нагрузки: высоковольтных двигателей и КТП. Поэтому рекомендуется применить метод парциальных максимумов.

2. Расчёт электрических нагрузок ДНС.

Выполняется аналогично расчёту КНС.

3. Расчёт электрических нагрузок НПС. Для НПС ГЭН в наиболее загруженные сутки практически постоянный, поэтому воспользуемся методом коэффициента использования (спроса). Для РУ НПС – также считаем методом парциальных максимумов.

4. Расчёт электрических нагрузок на шинах ГТЭС. Здесь ВВ-двигатели отсутствуют в принципе, суммируем средние и расчётные нагрузки (результаты расчёта предыдущих трёх пунктов). Используем метод парциальных максимумов.

Результаты расчёта всех четырёх пунктов заносим в соответствующие графы расчётных данных.

6. Выполняем чертёж схемы электроснабжения технологического комплекса.

Примерные вопросы для защиты лабораторной работы № 8

1. Организация схемных решений для обеспечения электроснабжения потребителей 1, 2 и 3 категорий.

2. ГТЭС генерирует напряжение 6кВ. Электропитание потребителей на кустах имеет параметр напряжения 6 и 0,4 кВ. Для чего сооружаются трансформаторные подстанции 6/35 и 35/6 кВ?

3. Назовите основные причины применения различных методов расчёта ЭН для различных технологических объектов.

4. В чем принципиальное отличие организации компенсации реактивной мощности при электроснабжении группы кустов скважин от централизованного источника электроснабжения и от собственной автономной электростанции.

Исходные и расчетные данные лабораторной работы №8

Исходные				Высоковольтные двигатели АТД-1600						КТП КНС 2Х630				Итого				
КНС	N	кв	кз	$P_H/\cos \varphi$	Pc	Pp	Qc	Qp	Sp	Pc	Qc	Pp	Qp	Pc	Qc	Pp	Qp	Sp
	3	0,88	0,8	1600						312	135	406	182					
				0,95														
				инд														
ДНС					Высоковольтные двигатели ВАО-400				КТП ДНС 2х1600				Итого					
					Pc	Pp	Qc	Qp	Sp	Pc	Qc	Pp	Qp	Pc	Qc	Pp	Qp	Sp
	4	0,88	0,79	400						1120	640	1290	790					
				0,93														
				инд														
НПС					Высоковольтные двигатели СТД-2500				КТП НПС 2х1000				Итого					
					Pc	Pp	Qc	Qp	Sp	Pc	Qc	Pp	Qp	Pc	Qc	Pp	Qp	Sp
	3	0,88	0,76	2500						640	310	730	380					
				0,99														
				емк														
ГТЭС					Высоковольтные двигатели от- сутствуют				КТП				Итого					
					Pc	Pp	Qc	Qp	Sp	Pc	Qc	Pp	Qp	Pc	Qc	Pp	Qp	Sp
	0	0	0	0	0	0	0	0		1370	1120	1540	1280					
														Всего на шинах 6 кВ ГТЭС (без учета Q генераторов)				
Итого														0	0	0	0	0

4.10 Лабораторная работа № 9

Определение средних и расчётных электрических нагрузок по всем присоединениям 35 кВ и в целом на шинах газотурбинной электростанции

Нефтяное месторождение имеет в качестве основного источника питания газотурбинную электростанцию (ГТЭС). Объекты технологической площадки (КНС, ДНС с УПСВ и НПС) питаются с шин генераторного напряжения 6 кВ (данные задачи 5). Распределённая по территории месторождения нагрузка (кусты скважин) питается на напряжении 35 кВ через повысительную 2-х трансформаторную подстанцию 6/35 кВ. Длина ВЛ 35 кВ от подстанции 6/35 кВ до кустовых подстанций 35/6 кВ и 35 /0,4 кВ составляет от 2 до 12 км. Для наиболее крупных кустов (3, 6, 7, 9, 16) сооружены отдельные 2-х трансформаторные подстанции 35/0,4 кВ. Кусты 21 и 22 разбуриваются; питаются от однострансформаторных (передвижных) подстанций 35/6 кВ. Остальные кусты питаются по ВЛ-6 кВ от двух 2-х трансформаторных подстанций 35/6 кВ «Куст 1» и «Куст 2». Для технологических объектов (кустов скважин) заданы число скважин на каждом кусте, номинальная мощность, коэффициент использования и $\cos \varphi$.

Определить средние и расчётные нагрузки по всем присоединениям 35 кВ и по ГТЭС в целом, используя данные задач №5 и 1. (Данные по задаче 1 немного изменены и приводятся в исходных данных). Составить полную расчётную схему, используя данные задач № 5 и 6.

Таблица 41

Исходные и расчетные данные по кустам скважин (к лабораторной работе № 9)

Исходные данные по кустам						Расчеты по кустам		
куст	число добывающих скважин, шт.	P_n скв.	P_n куста	K_i	$\cos \varphi$	P_c	Q_c	S_c
1	7	125	875	0,80	0,77			
2	6	125	750	0,71	0,74			
3	11	160	1760	0,73	0,78			
4	8	125	1000	0,62	0,76			
5	7	125	875	0,64	0,81			
6	9	160	1440	0,76	0,79			
7	12	160	1920	0,70	0,74			
8	6	160	960	0,80	0,75			
9	11	200	2200	0,69	0,75			
10	4	125	500	0,83	0,74			

Окончание таблицы 41

11	5	125	625	0,82	0,77			
12	3	125	375	0,78	0,74			
13	3	125	375	0,80	0,75			
14	7	160	1120	0,70	0,75			
15	8	160	1280	0,68	0,76			
16	12	160	1920	0,69	0,73			
17	10	125	1250	0,77	0,84			
18	7	200	1400	0,69	0,77			
19	6	200	1200	0,78	0,74			
20	8	160	1280	0,69	0,76			
21	БУ							
22	БУ							

Таблица 42

Расчетные данные по подстанциям (к лабораторной работе № 9)

Расчеты по подстанциям	Рн	Рс	Qс	пск	Ки	Км по кривым РД	Лм по кривым РД	Рр	Qр	Sp
35/6 кВ "К-21"										
Состав потребителей										
БУ (нагрузки заданы)	нет	1500	100	нет	нет					
35/6 кВ "К-22"										
Состав потребителей										
БУ (нагрузки заданы)	нет	1500	100	нет	нет					
35/0,4 кВ "К-3"										
Куст 3	1760	1278	1025							
35/0,4 кВ "К-6"										
Куст 6	1440	1093	848							
35/0,4 кВ "К-9"										
Куст 9	2200	1525	1345							
35/0,4 кВ "К-7"										
Куст 7	1920	1336	1214							
35/0,4 кВ "К-16"										

Окончание таблицы 42

Куст 16	1920	1329	1244							
ПС 35/6 кВ "Куст 1"										
Куст 1	875	703	583							
Куст 5	875	562	407							
Куст 11	625	510	423							
Куст 13	375	298	263							
Куст 15	1280	868	742							
Куст 17	1250	961	621							
Куст 19	1200	940	855							
Суммарные показатели	6480	4843	3893			1,02	1,02			
ПС 35/6 кВ "Куст 2"										
Куст 2	750	529	481	6	0,71					
Куст 4	1000	622	532	8	0,62					
Куст 8	960	770	679	6	0,80					
Куст 10	500	413	375	4	0,83					
Куст 12	375	292	266	3	0,78					
Куст 14	1120	789	696	7	0,70					
Куст 18	1400	961	797	7	0,69					
Куст 20	1280	880	752	8	0,69					
Суммарные показатели	7385	5257	4578	43	0,71	1,02	1,02			

Таблица 43

Расчетные данные по сборным шинам ГТЭС и всем присоединениям
(к лабораторной работе № 9)

Итого по шинам 35 кВ	P _н	P _с	Q _с	Sc	P _p	Q _p	Sp
ПС 35/0,4 кВ "К-3"							
ПС 35/0,4 кВ "К-6"							
ПС 35/0,4 кВ "К-9"							
ПС 35/0,4 кВ "К-7"							
ПС 35/0,4 кВ "К-16"							
ПС 35/6 кВ "Куст 1"							
ПС 35/6 кВ "Куст 2"							
ПС 35/6 кВ "куст 21"							
ПС 35/6 кВ "куст 22"							
Итого 35 кВ							
Итого по шинам 6 кВ	P _н	P _с	Q _с	Sc	P _p	Q _p	Sp
Итого 6 кВ							
Всего							

Примерные вопросы для защиты лабораторной работы № 9

1. Каковы положительные и отрицательные моменты при использовании тр-ных п/с 35/0,4 кВ для питания больших кустов скважин.
2. Каким образом осуществляется компенсация РМ на п/с 35/6, и 35/0,4 кВ? В чем отличие?
3. Назовите основные методы расчета нагрузок для отдельного куста и для группы кустов скважин, питающихся от одной п/с.
4. В чем принципиальное отличие организации компенсации реактивной мощности при электроснабжении группы кустов скважин от централизованного источника электроснабжения и от собственной автономной электростанции?

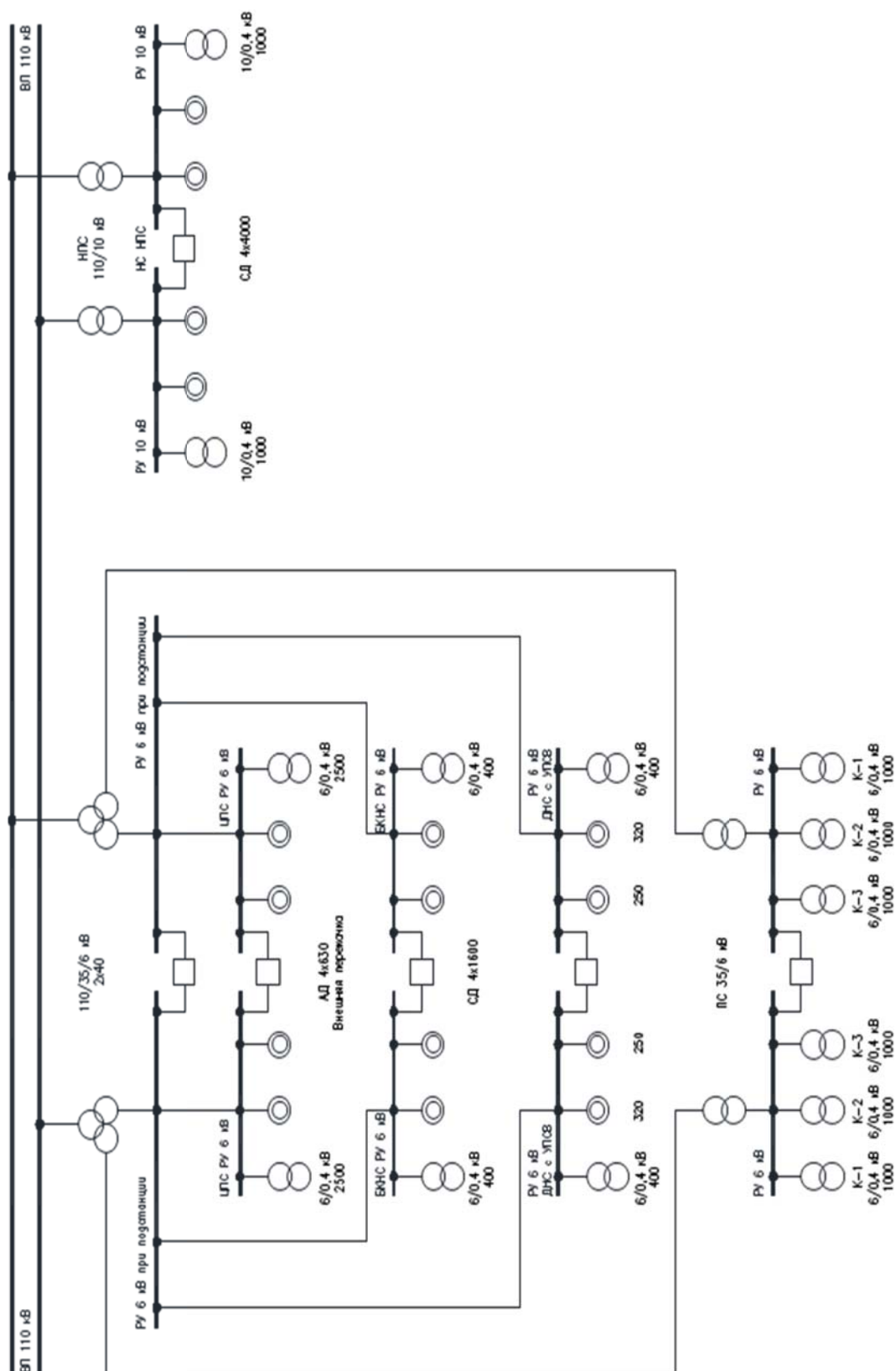


Рис. 8 Схема электроснабжения технологического комплекса
(к лабораторной работе № 8)

4.11 Лабораторная работа № 10

Расчет электрических нагрузок на сборных шинах сетевой подстанции 35/10 кВ, выбор мощностей компенсирующих устройств и мощностей аварийных дизельных электростанций

В таблицах исходных данных (табл. 44) приведены сведения, а также на рис. 10 - схема электроснабжения потребителей в районе нефтедобычи, питающихся от двух трансформаторных подстанций 35/10 кВ - база нефтяного промысла с вахтовым жилым поселком.

Сокращенные наименования потребителей:

БПО - база производственного обслуживания

ВЖК – вахтовый жилой комплекс

КанНС – канализационная насосная станция

ВКС - воздушная компрессорная станция

Цех ПО, ВС – цеха производственного обслуживания и водоснабжения базы и поселков

Примечание.

В Пождепо применяется независимый электрообогрев

ЗАДАНИЕ

1. Определить расчетные нагрузки по активной, реактивной и полной мощностям по подстанциям 35/10 кВ "ВЖК-1" и "ВЖК-2".
2. Выбрать мощность компенсирующих устройств из условия , что $\text{tg } \varphi = 0,15$, то есть $\cos \varphi = 0,99$ по каждой подстанции 35/10 кВ.
3. Найти планируемый расход активной и реактивной электроэнергии по ВЖК в целом и по каждой подстанции 35/10 кВ.
4. Выбрать мощности аварийных дизельных электростанций для питания потребителей котельной (КТП-3 ВЖК-1), цеха водоснабжения (КТП-3 ВЖК-2) и ВЖК Жорино (КТП-4 ВЖК-2) в случае отключения питания.

УКАЗАНИЯ

П.1 выполнить разными методами - парциальных максимумов и коэффициента разновременности максимумов, а затем произвести сравнение полученных результатов

Таблица 44

Исходные данные по подстанции ПС 35/10 кВ "ВЖК-1 (к лабораторной работе №10)

ПС 35/10 кВ "ВЖК-1"									
КТП-1 Пождепо	2х400	322	211	142	254	4000	252	167	302
КТП-2 Цех ПО	2х630	411	356	188	403	3500	388	211	442
КТП-3 Котельная	2х400	390	260	130	291	8600	300	150	335
КТП-4 ВЖК Пром-базы	2х630	778	432	88	441	5000	477	112	490
КТП-5 Рем. База	2х250	182	114	77	138	3500	143	118	185
Итого по ПС без КУ									
БСК (КУ)									
Итого по подстанции с КУ									

По результатам расчета *по подстанции ПС 35/10 кВ "ВЖК-1"* сформировать таблицу расчетных данных по каждому потребителю столбца «ПС 35/10 кВ "ВЖК-1"» в соответствии с заданием работы и предлагаемыми заголовками (табл. 45).

Таблица 45

Результаты расчетов по потребителям ПС 35/10 кВ "ВЖК-1

W _a , тыс. кВт.ч	W _p , тыс. квар.ч	tg φ	ДЭС, кВт

По результатам расчета *по подстанции ПС 35/10 кВ "ВЖК-2"* сформировать таблицу расчетных данных по каждому потребителю столбца «ПС 35/10 кВ "ВЖК-2"» в соответствии с заданием работы и предлагаемыми заголовками (табл.47).

Примерные вопросы для защиты лабораторной работы № 10

1. Чем объяснить достаточно низкие числа часов использования максимума нагрузки для ВЖК, ОБП и др. потребителей.
2. Назовите наиболее подходящие методы расчета нагрузок для аналогичных потребителей.
3. Чем объяснить различие в зимних и летних ГЭН для этих объектов.

Таблица 46

Исходные данные по подстанции ПС 35/10 кВ "ВЖК-2»

	S_n , КВА	P_n , кВт	P_c , кВт	Q_c , квар	S_c , кВт А	T_p , ч	P_m , кВт	Q_m , квар	S_m , КВА
ПС 35/10 кВ "ВЖК-2"									
КТП-1 КанНС	2х1000	542	402	342	528	8600	472	384	608
КТП-2 ВКС	2х400	322	188	114	220	6000	221	145	264
КТП-3 Цех ВС	2х1600	833	656	322	731	8600	772	408	873
КТП-4 ВЖК Жорино	2х400	334	242	64	250	5000	322	95	336
АД КанНС (3+1)*320 кВт		960	672	363	764	8600	960	455	1062
Итого по ПС без КУ									
БСК (КУ)									
Итого по под- станции с КУ									
Итого по ВЖК									

Таблица 47

Результаты расчетов по потребителям ПС 35/10 кВ "ВЖК-2

W_a , тыс.кВт.ч	W_p , тыс.квар.ч	$\lg \varphi$	ДЭС, кВт

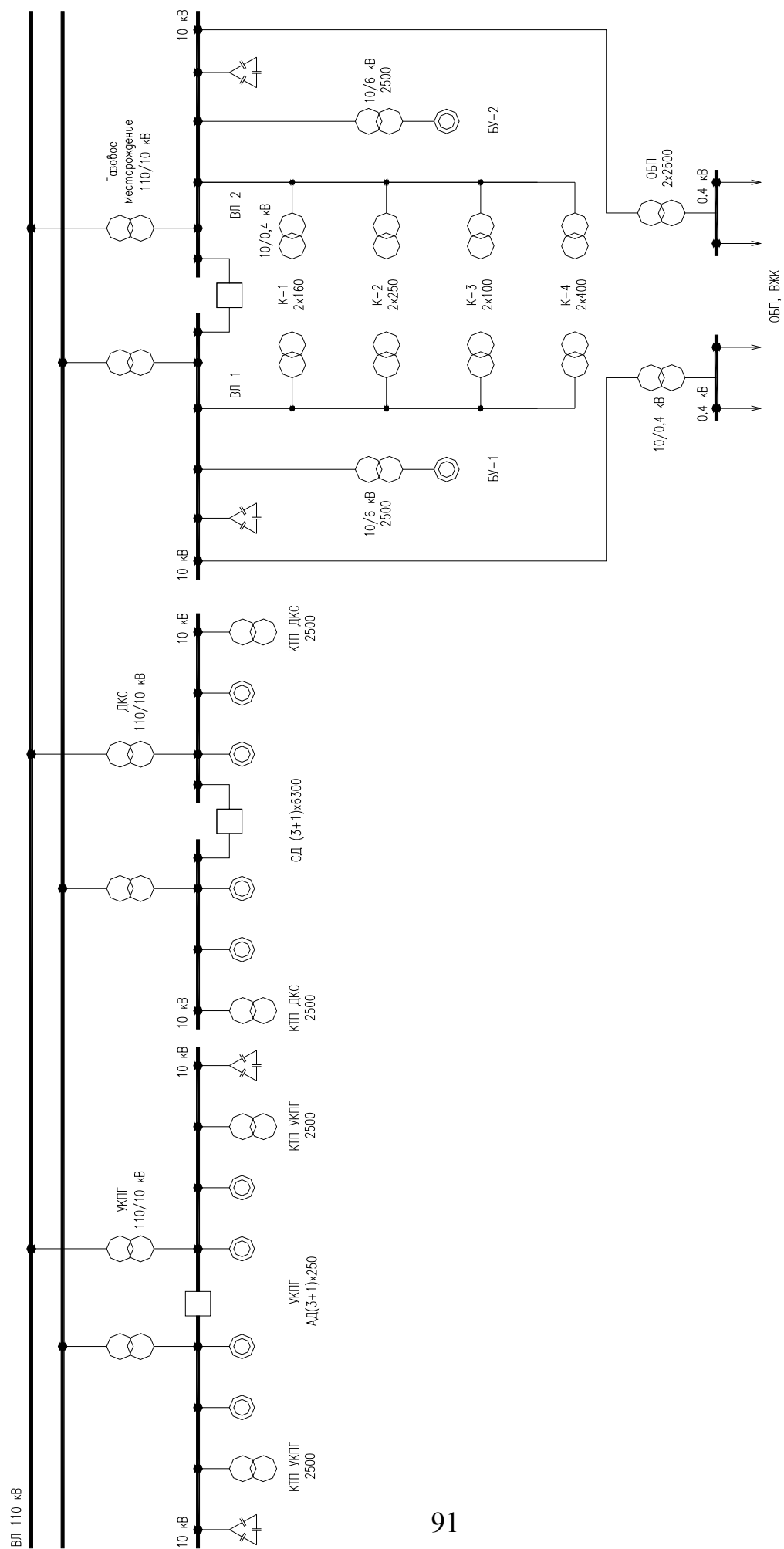


Рис. 10 Схема электроснабжения вахтово-жилищного комплекса и базы промысла
(к лабораторной работе №11)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в данном учебном пособии рассмотрены различные методы и показатели для расчета электрических нагрузок технологических установок и комплексов нефтяной и газовой промышленности Западной Сибири применительно к различным условиям.

Приведены примеры применения наиболее подходящих методов расчета электрических нагрузок для потребителей электроэнергии в нефтяной и газовой промышленности.

Разработан лабораторный практикум, включающий в себя 10 лабораторных работ, представляющих собой постановку достаточно сложные инженерно-технические проблем и иллюстрирующих подробные решения поставленных задач.

Авторы выражают благодарность рецензентам, профессору, д.т.н. Шлыку Ю.К. и к.т.н. Велиеву М.К. за внимательное прочтение работы и ценные замечания, а также выпускникам кафедры Электроэнергетики С.Коробейникову и Д.Чижу за помощь в оформлении данного учебного пособия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азимов В.А., Кремер Д.М. Электрические нагрузки нефтяных промыслов. Научно-технический обзор. М., ВНИИОЭНГ, 1975 – 80 с.
2. Волобринский, С.Д., Каялов, Г.М., Клейн, П.М., Мешель, Б.С. Электрические нагрузки промышленных предприятий. Учебное пособие. М.– Л., «Энергия», 1976 .- 276 с
3. Конюхова, Е.А. Электроснабжение объектов. Учебное пособие. М.,Издательский центр «Академия», 2004 – 319 с.
4. Кудрин, Б.И. Электроснабжение. Учебное пособие. М., У Издательский центр «Академия», 2012 –350 с.
5. Кудряшов, Р.А, Сушков, В.В., Чукчеев, О.А., Кудряшова, О.М. Методические вопросы расчёта электрических нагрузок и электропотребления в нефтегазодобыче. Учебное пособие. Тюмень, Вектор-Бук, 2004 – 76 с.
6. Указания по определению электрических нагрузок в промышленных установках. Руководящий документ. «Инструктивные указания по проектированию электротехнических промышленных установок», №6, 1968 -6 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. Понятие и особенности расчета электрических нагрузок в нефтегазодобыче	4
2. Основные теоретические сведения	6
2.1 Графики электрических нагрузок	6
2.2 Основные показатели электрических нагрузок	9
2.3 Основные коэффициенты графиков электрических нагрузок	10
2.4 Методы определения электрических нагрузок	12
2.5 Порядок определения расчетной электрической нагрузки по методу упорядоченных диаграмм	14
2.6 Порядок расчета электрических нагрузок по статистическому методу	17
2.7 Порядок расчета электрических нагрузок по методу вероятностного моделирования	19
2.8 Информация о показателях и уровнях электрических нагрузок различных нефте- и газопромысловых установок	20
2.9 Методы суммирования разнородных электрических нагрузок	24
3. Примеры решения	31
3.1 Пример 1	31
3.2 Пример 2	32
3.3 Пример 3	33
3.4 Пример 4	34
3.5 Пример 5	35
3.6 Пример 6	37
3.7 Пример 7	39
3.8 Пример 8	39
3.9 Пример 9	40
3.10 Пример 10	41
3.11 Пример 11	43
3.12 Пример 12	46
4. Лабораторный практикум	49
4.1 Лабораторная работа № 1	
Вычисление объемов электропотребления и показателей электрических нагрузок с использованием фактических показаний счётчиков электрической энергии, часть 1	49
4.2 Лабораторная работа № 1, часть 2	56

4.3 Лабораторная работа № 2	
Определение объемов электропотребления и средних нагрузок по активной, реактивной, полной мощностям и току для электроприёмников общепромышленного назначения	61
4.4 Лабораторная работа № 3	
Определение объемов электропотребления и средних нагрузок по активной, реактивной, полной мощностям и току для электроприёмников нефтяной и газовой промышленности	65
4.5 Лабораторная работа № 4	
Определение средних нагрузок по активной, реактивной, полной мощностям и току для различных осветительных электроприёмников (освещения) в зимнее время.....	69
4.6 Лабораторная работа № 5	
Определение средних нагрузок по активной, реактивной, полной мощностям и току для различных осветительных электроприёмников (освещения) в летнее время.....	71
4.7 Лабораторная работа №6	
Определение расчетных нагрузок по активной, реактивной, полной мощностям и току для различных осветительных электроприёмников (освещения) в зимнее время.....	74
4.7 Лабораторная работа №7	
Определение расчетных нагрузок по активной, реактивной, полной мощностям и току для различных осветительных электроприёмников (освещения) в летнее время	76
4.8 Лабораторная работа №8	
Определение расчётных электрических нагрузок технологического комплекса по сбору, подготовке и транспортировке нефти, питающегося от автономного источника электроснабжения	78
4.9 Лабораторная работа №9	
Определение средних и расчётных электрических нагрузок по всем присоединениям 35 кВ и в целом на шинах газотурбинной электростанции	82
4.10 Лабораторная работа №10	
Расчет электрических нагрузок на сборных шинах сетевой подстанции 35/10 кВ, выбор мощностей компенсирующих устройств и мощностей аварийных дизельных электростанций	88
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	92
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	93

Учебное издание

Кудряшов Руслан Аполлонович
Кудряшова Ольга Михайловна

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В НЕФТЕГАЗОДОБЫЧЕ

В авторской редакции

Подписано в печать 24.01.2017. Формат 60х90 1/16. Усл. печ. л. 5,52.
Тираж 500 экз. Заказ № 556.

Библиотечно-издательский комплекс
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Тюменский индустриальный университет».
625000, Тюмень, ул. Володарского, 38.

Типография библиотечно-издательского комплекса.
625039, Тюмень, ул. Киевская, 52.