**Тема Лекции: Технические системы управления установившимися режимами ЭЭС**

**Лекция №17.** **Регулирование напряжения**

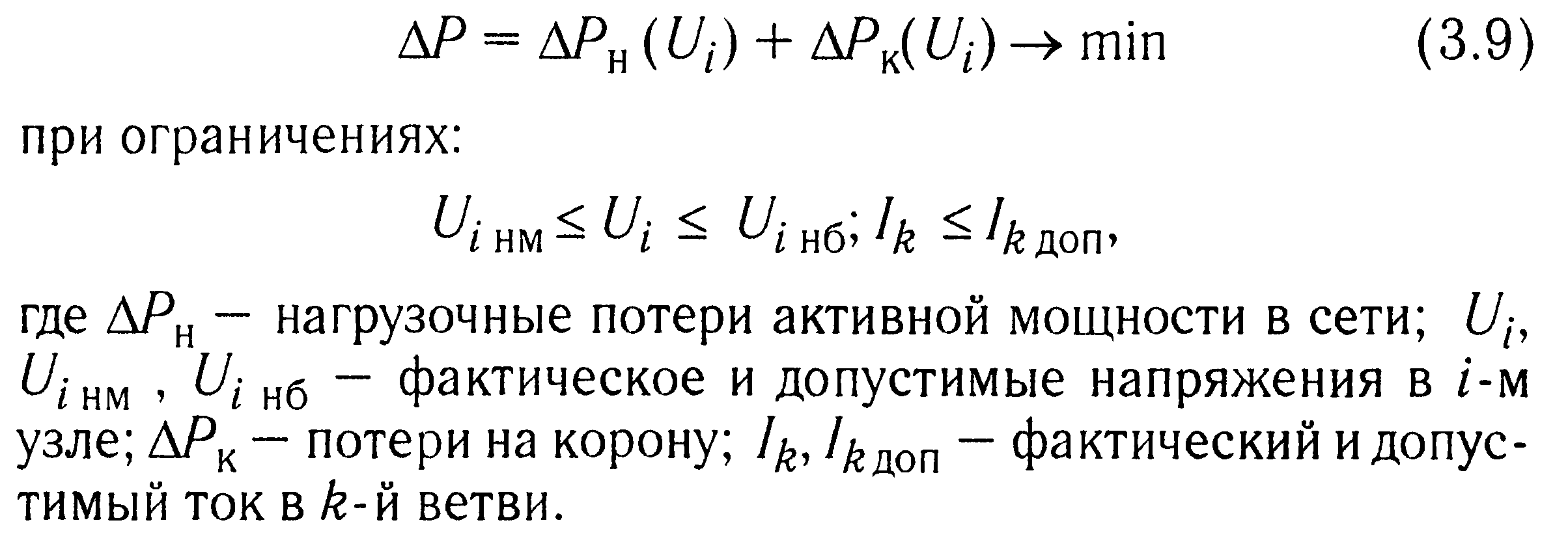
Регулирование напряжения при оперативном управлении энергосистемами и электрическими сетями должно обеспечивать решение следующих задач:

- поддержание допустимых в соответствии с ГОСТом напряжений у потребителей;

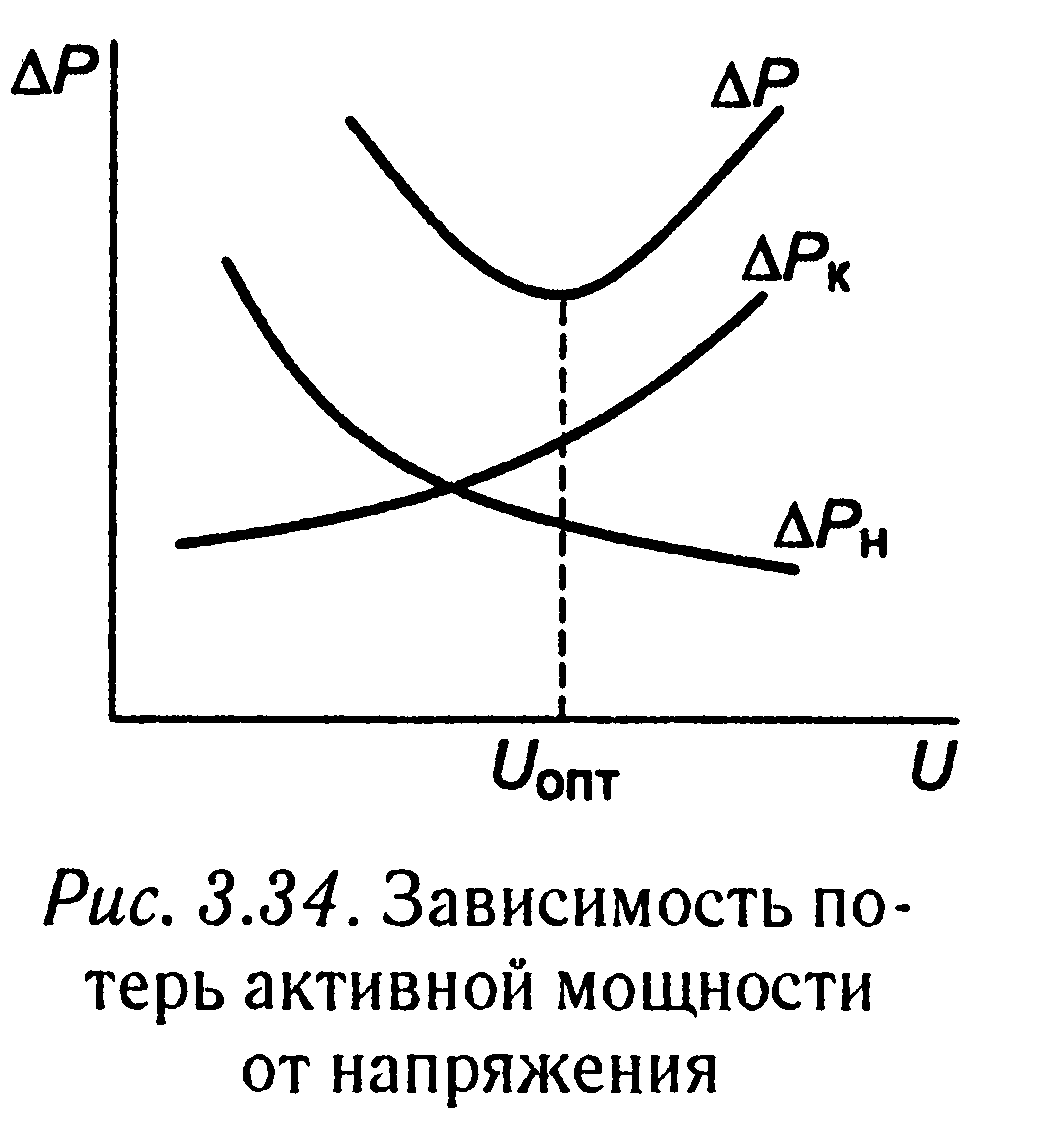
- поддержание оптимального режима напряжений в системообразующих и питающих сетях 750...35 кВ, обеспечивающего минимум суммарных потерь активной мощности.

В системообразующих и питающих сетях регулирование

напряжения осуществляют по критерию



В сетях напряжением 35...220 кВ др.|

потери на корону незначительны. 

Поэтому если ими пренебречь, то

следует поддерживать максимально возможные значения напряжения, так как нагрузочные потери обратно пропорциональны квадрату напряжения. Однако при этом необходимо учитывать, что изменение соотношения напряжений в различных точках сети будет приводить к изменению потоков реактивной мощности и, как следствие, к изменению потерь активной

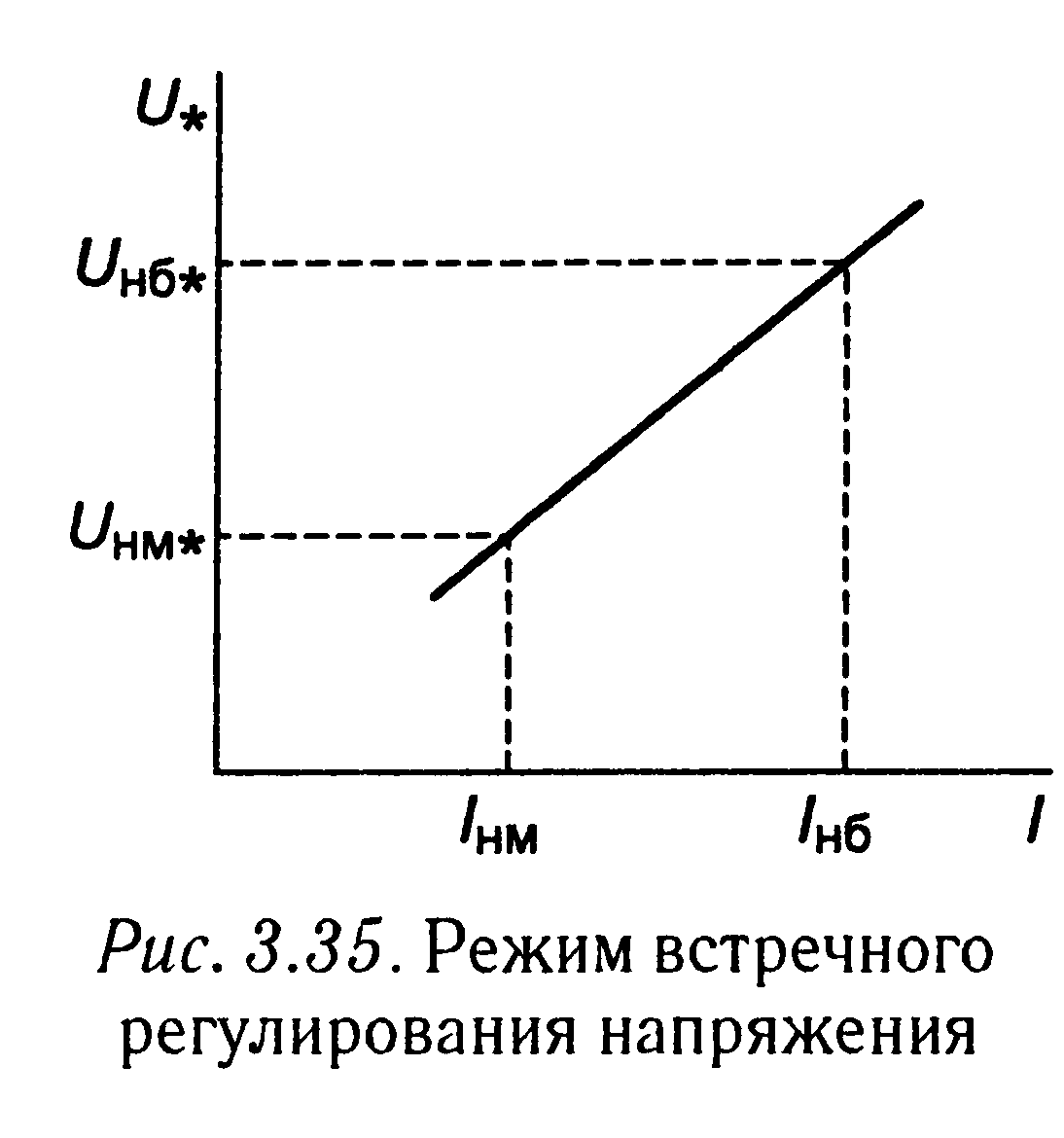
мощности в сети. Поэтому значения напряжений в различных точках сети устанавливают на основании оптимизационных расчетов.

В сетях напряжением 330...750 кВ потери на корону могут быть соизмеримы с нагрузочными потерями. Поскольку они увеличиваются с повышением напряжения, то режим напряжений должен выбираться в соответствии с формулой (3.9). Изменение потерь мощности в зависимости от напряжения показано на рис. 3.34. Очевидно, что в режимах малых

нагрузок, особенно близких к холостому ходу, в линиях будут преобладать потери на корону и оптимальным будет пониженное напряжение. То же относится к плохой погоде (дождь, изморозь) по трассе линии, когда потери на корону резко возрастают. При больших же нагрузках и хорошей погоде (ясно, сухой снег) преобладают нагрузочные потери, и в этих режимах

оптимальным будет повышенное напряжение. Для оперативного управления режимом напряжений устанавливают контрольные точки, в которых на основании оптимизационных расчетов задают графики напряжений для

рабочих, выходных и предвыходных дней. В системообразующих и питающих сетях контрольными точками обычно являются шины напряжением 35...750 кВ всех электростанций и 110 кВ крупных узловых подстанций. Относительно распределительных сетей напряжением 6... 10 кВ должно осуществляться местное регулирование напряжения в центрах питания, которые также являются контрольными точками. К ним относятся шины: генераторного напряжения электростанций, от которых питаются местные потребители;



вторичного напряжения подстанций, имеющих трансформаторы с

регулированием напряжения под нагрузкой, регулируемые вольтодобавочные трансформаторы, СК, БК.

Режим напряжения в центре питания распределительных сетей должен выбираться в зависимости от режима нагрузок потребителей и их удалённости от ЦП. Наиболее часто используют режим встречного (согласного) регулирования напряжения, при котором с повышением нагрузки сети повышается и напряжение в центре питания (рис. 3.35). Поскольку в распределительных сетях на трансформаторах напряжением 6... 10/0,38 кВ обычно отсутствуют устройства регулирования напряжения под нагрузкой, этот режим в любое время суток должен обеспечивать допустимые отклонения напряжения у всех электроприемников в сетях напряжением 0,38 кВ. Чтобы выполнить данное условие, выбор режима напряжения в центре питания осуществляют совместно с выбором ответвлений трансформаторов 6... 10/0,38 кВ. При этом для снижения потерь мощности сети следует поддерживать как можно более высокое

напряжение в центре. В соответствии с межгосударственным стандартом длительно допустимые отклонения напряжения у электроприемников

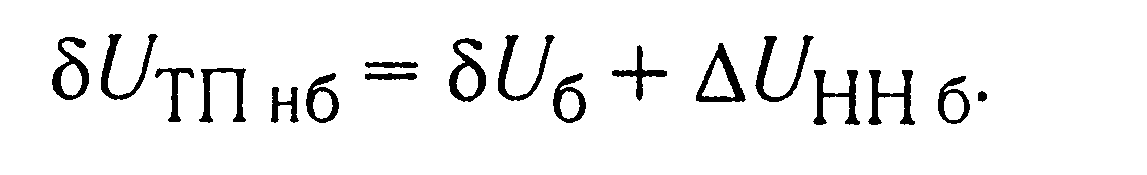
должны находиться в пределах ± 5% с вероятностью р > 0,95. Если

ориентироваться на то, что у ближайшего к ТП 6... 10/0,38 кВ

электроприемника отклонение напряжения будет равно верхнему допустимому пределу: δU6 = + 5% (рис. 3.36), а потеря

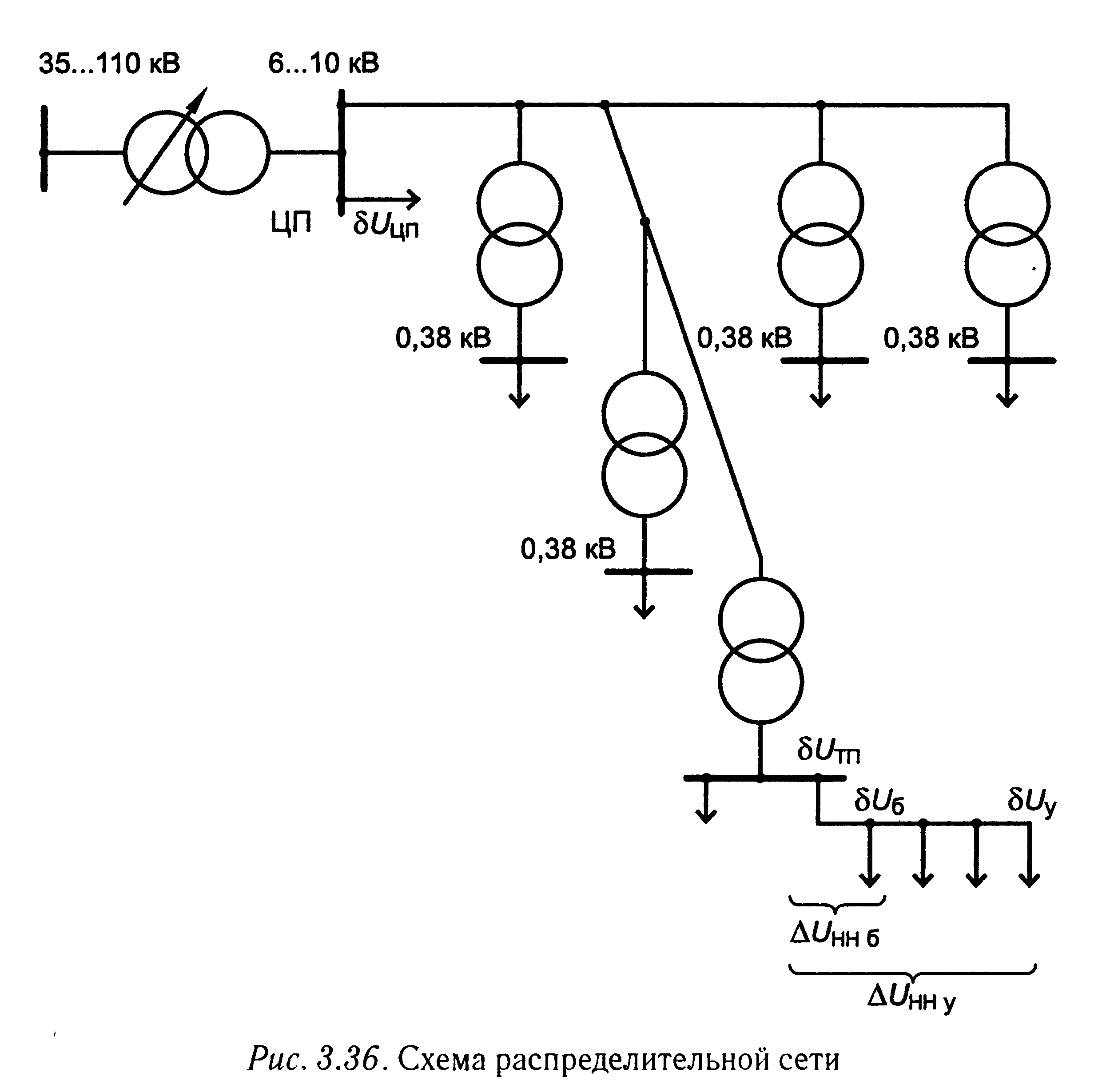
напряжения в сети 0,38 кВ от шин ТП до него равна ∆ U ННБ, то

по условию работы ближайшего приемника наибольшее допустимое отклонение напряжения на шинах 0,38 кВ ТП:

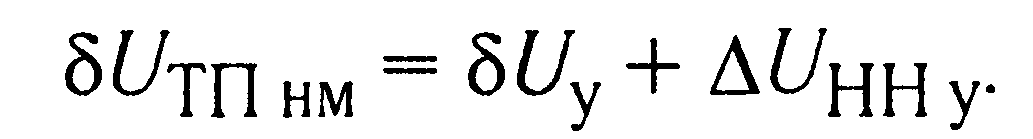


Применительно к наиболее удаленному от шин 0,38 кВ ТП электроприемнику можно ориентироваться на то, что у него отклонение напряжения будет равно нижнему допустимому пределу (δ Uу = -5 %). При потере напряжения от шин 0,38 кВ ТП до удаленного электроприёмника

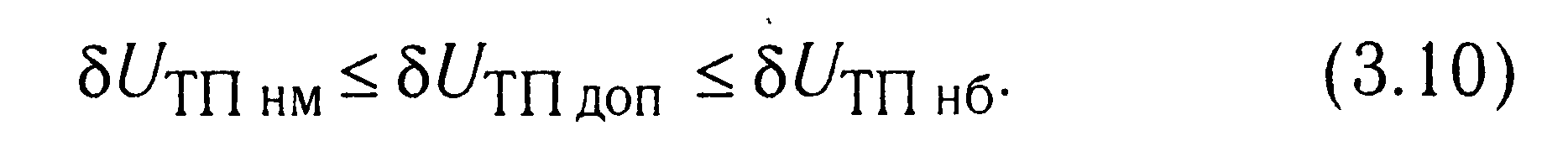
∆ UННу наименьшее допустимое отклонение напряжения на шинах ТП по



условию работы удаленного приемника

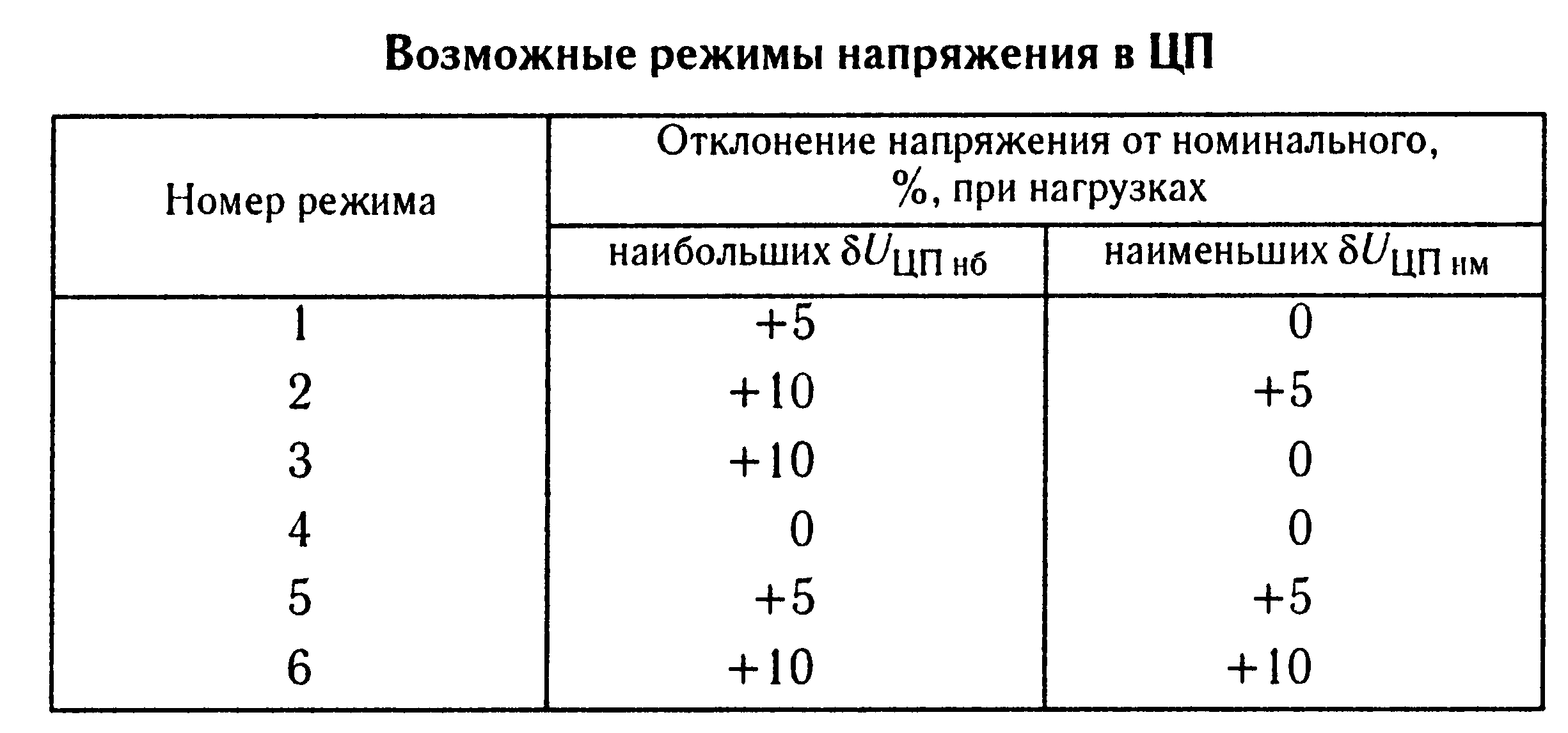


Следовательно, с учетом соблюдения требований ГОСТа как у ближайшего, так и у наиболее удаленного электроприемника напряжение на шинах 0,38кВ ТП в любых режимах (как наибольших, так и наименьших нагрузок) должно находиться в следующих пределах:



На практике обычно выбирают один из режимов регулирования напряжения на шинах 6...10 кВ ЦП, приведенных в табл. 3.7.

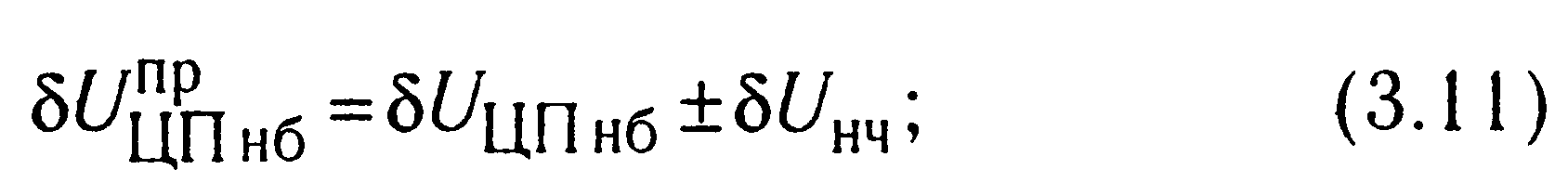
Таблица 3.7



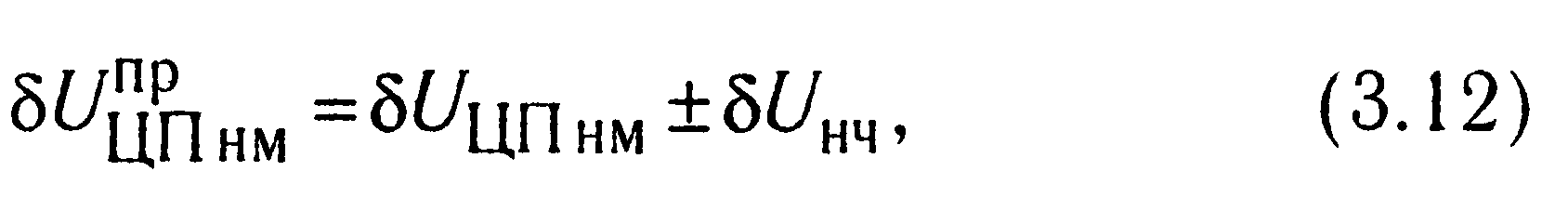
Режимы 1—3 соответствуют встречному регулированию, причем режим 3 глубокого регулирования может потребоваться при значительных потерях напряжения от ЦП до наиболее удаленного ТП и глубоких изменениях нагрузки в течение суток. Режимы 4—6 соответствуют стабилизации напряжения. Они могут оказаться эффективными при незначительных изменениях нагрузки в течение суток, при этом режим 4 целесообразен при близком расположении электроприемников к ТП, а режим 6 - при значительном удалении их от ТП. Автоматические регуляторы напряжения в ЦП обладают зоной нечувствительности, поэтому отклонение напряжения

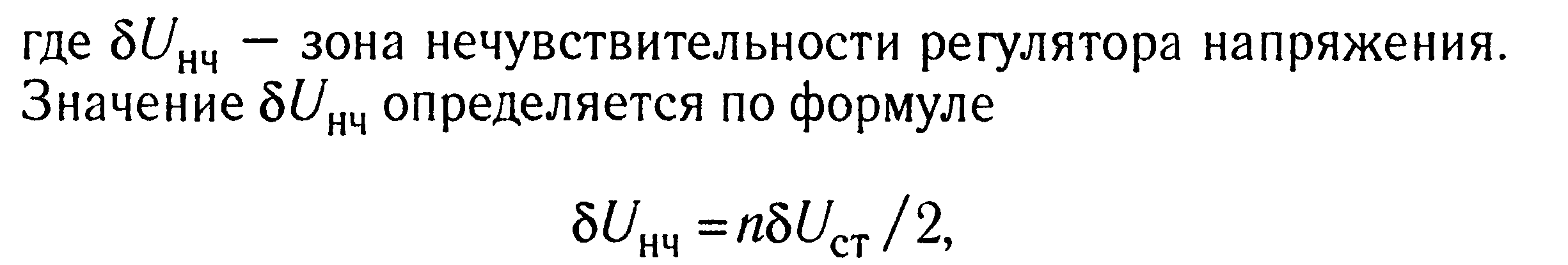
на шинах ЦП не будет поддерживаться строго в соответствии с режимом, выбранным из табл. 3.7, а будет находиться в следующих пределах:

при наибольших нагрузках



при наименьших нагрузках



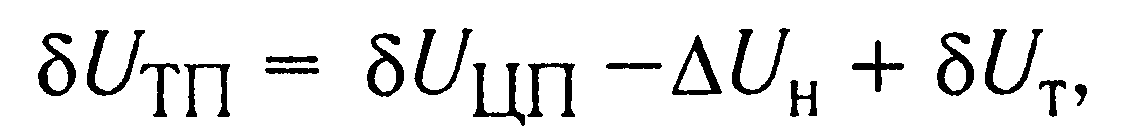


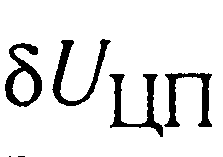
где n - коэффициент чувствительности (вводится для исключения многочисленных бесцельных срабатываний переключающих устройств и принимается равным 1,2... 1,6); δUст - ступень регулирования на обмотке трансформатора ЦП.

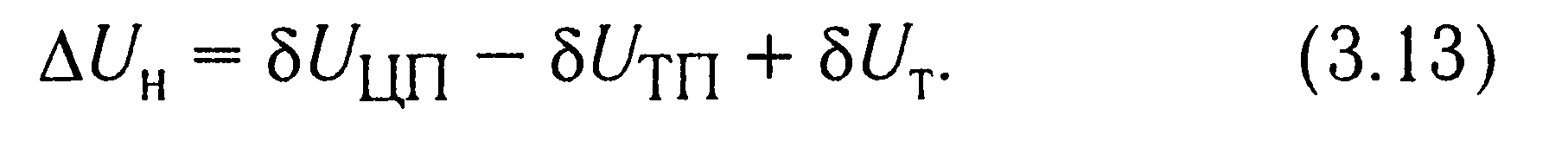
Как известно, на трансформаторах напряжением 6... 10/0,38 кВ

обычно имеется пять ответвлений со ступенью регулирования

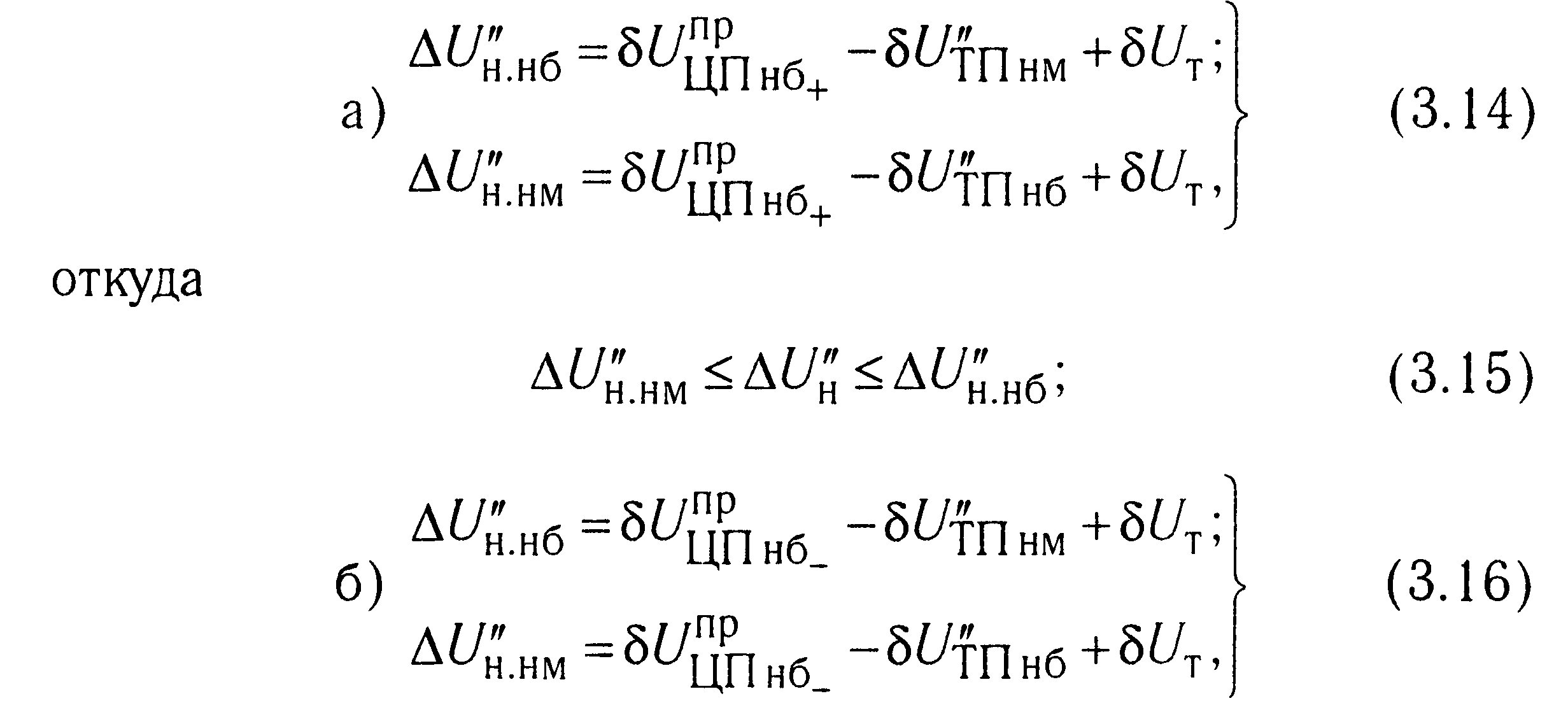
трансформации 2,5% ((6...10) ±2 • 2,5%/0,4 кВ). Для обеспечения допустимых отклонений напряжения в сетях 0,38 кВ целесообразно использовать все имеющиеся ответвления. При этом каждому из ответвлений будет соответствовать определенная зона распределительной сети. На ТП, близких к ЦП, следует стремиться установить ответвления с меньшими добавками напряжения (т.е. 4-5 или +2,5%), а на удаленных ТП — наоборот, с большими добавками напряжения (-2,5 или -5%). Условия перехода с одного ответвления на другое можно получить из следующих соображений. Отклонение напряжения на шинах 0,38 кВ ТП

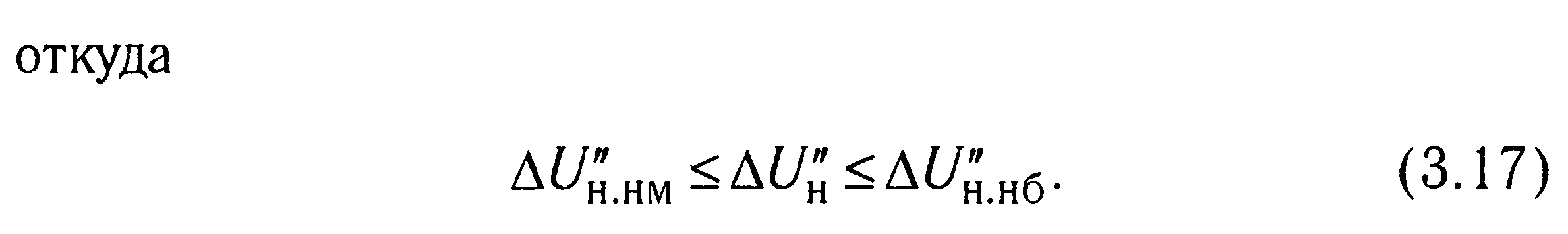


где - отклонение напряжения на шинах ЦП; - потеря напряжения от шин ЦП до шин 0,38 кВ ТП; ∆ Uн — добавка напряжения на трансформаторе ТП, соответствующая какому-либо ответвлению. Отсюда

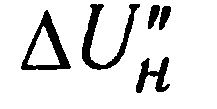


Подставив в формулу (3.13) предельные значения допустимых отклонений напряжения на шинах 0,38 кВ ТП из выражения (З.10) и возможные отклонения напряжения на шинах ЦП при выбранном режиме регулирования из выражения (3.11), для режима наибольших нагрузок получим:

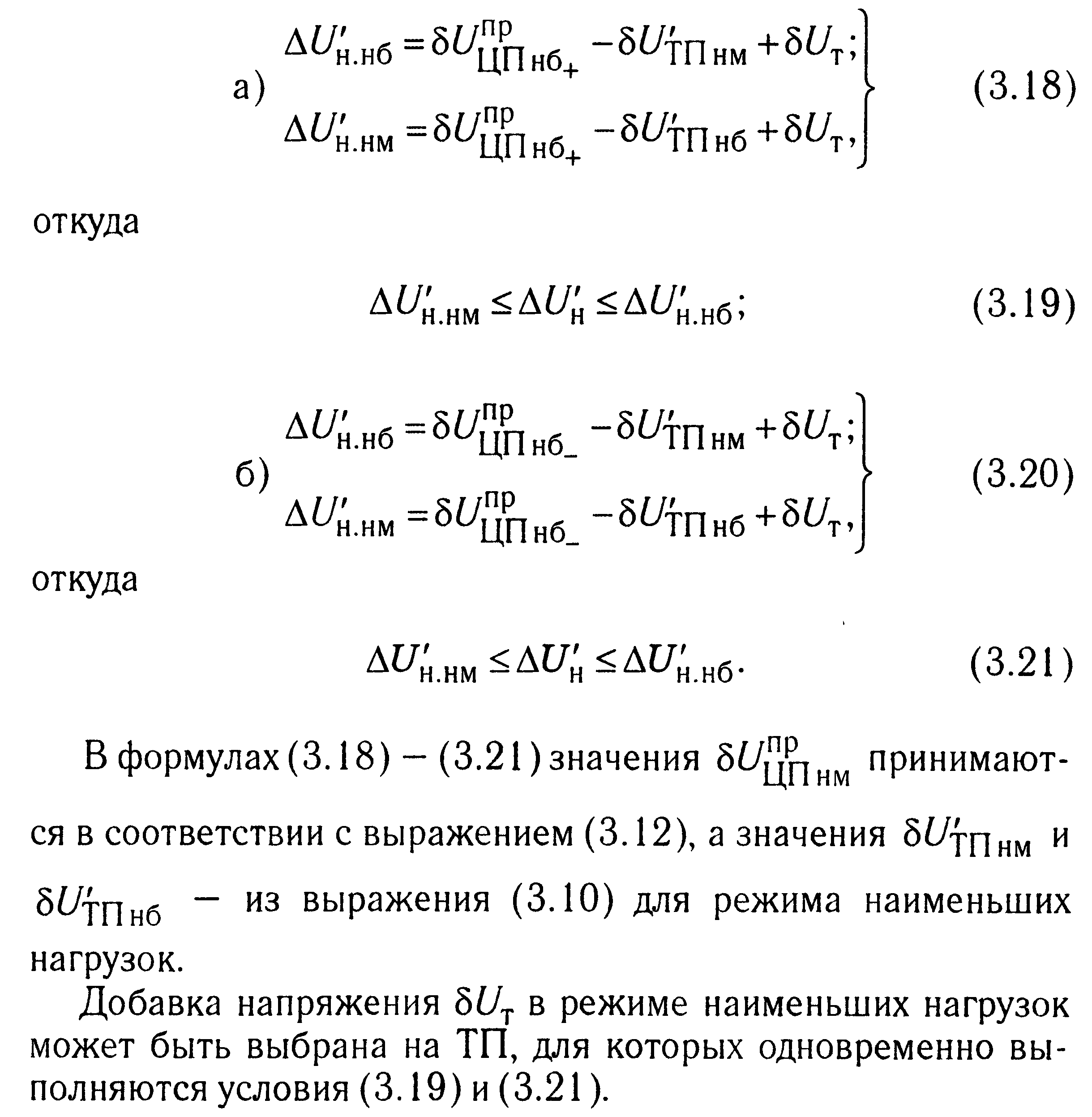




В формулах (3.14) - (3.17) знак «"» соответствует режиму наибольших нагрузок, а знаки « + » и « — » в индексах — знакам при WH4 в формуле (3.11). Таким образом, в режиме наибольших нагрузок добавка

напряжения 5UT на трансформаторах может быть выбрана на ТП, для которых одновременно выполняются условия (3.15) и (3.17). Потеря напряжения  „ от шин ЦП до шин 0,38 кВ ТП находится на основании электрического расчета сети.

Аналогичным образом для режима наименьших нагрузок (величины со знаком « ' ») можно записать:

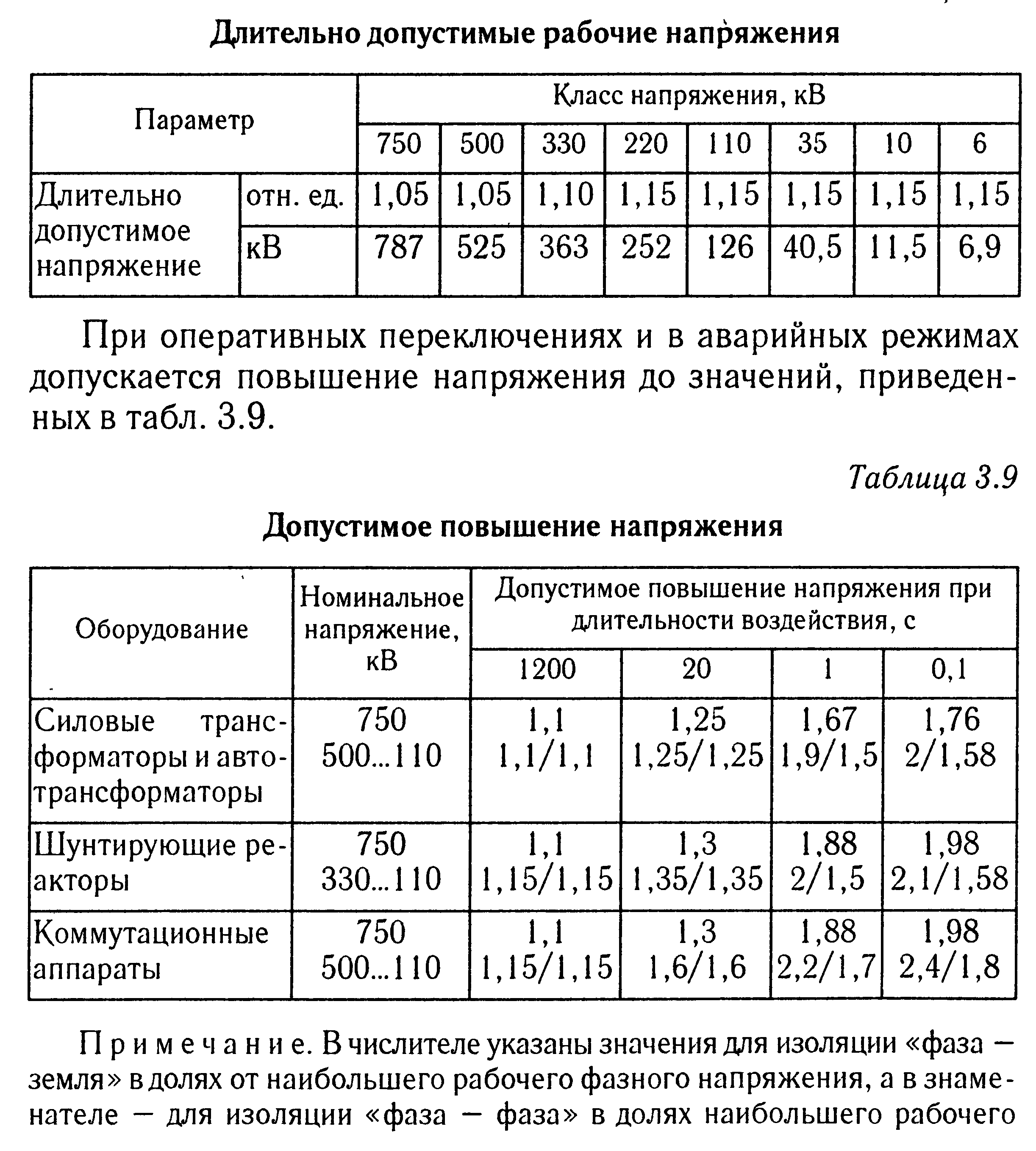


Таким образом, добавка напряжения 8UT будет удовлетворять требованиям ГОСТа в режимах наибольших и наименьших нагрузок у всех электроприемников, питающихся от ТП для которых одновременно выполняются условия (3.15), (3.17),(3.19)и(3.21).

При оперативном ведении режима длительно допускаются

максимальные рабочие напряжения, приведенные в табл. 3.8. В соответствии с ГОСТом на выводах электроприемников установлены предельно допустимые значения отклонения напряжения ±10%, которые в случае превышения нормативных допустимых отклонений ±5% разрешаются с вероятностью р 0,05.

Таблица 3.8



междуфазного напряжения. Длительности воздействия повышенного напряжения соответствуют: 1200 с — времени синхронизации; 20 — времени существования асинхронного хода; 1 - времени действия резервных защит; 0,1 с — времени действия основной защиты. При мощности не более номинальной длительная работа трансформаторов допускается в случае превышения номинального напряжения установленного ответвления не более чем 10%.

Для регулирования напряжения в энергосистемах используются:

- генераторы электростанций и синхронные компенсаторы путем регулирования тока возбуждения, в том числе в зоне недовозбуждения;

- трансформаторы, автотрансформаторы и вольтодобавочные трансформаторы путем изменения их коэффициентов трансформации;

- батареи конденсаторов на системных и потребительских подстанциях путем их полного или частичного включения или отключения;

- нерегулируемые шунтирующие реакторы путем их включения или

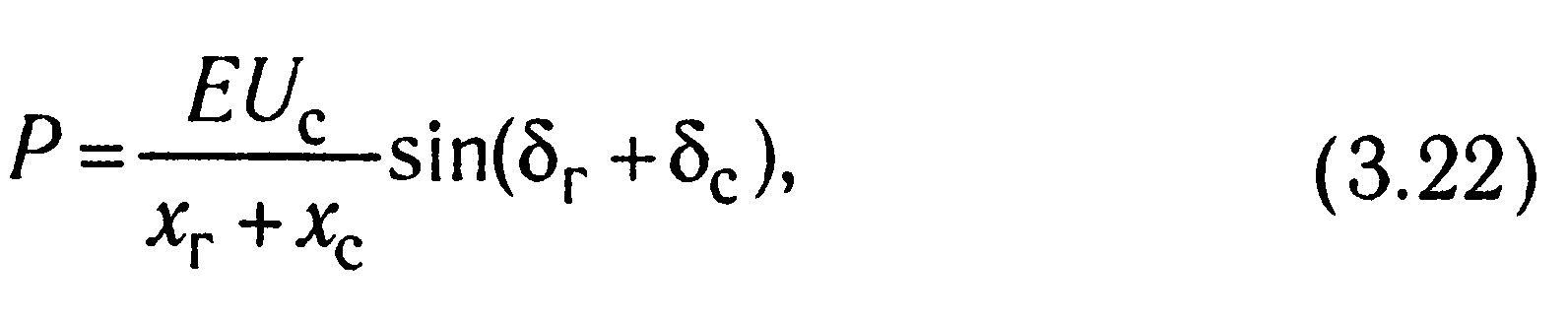
отключения;

- управляемые реакторы с плавным или ступенчатым регулированием;

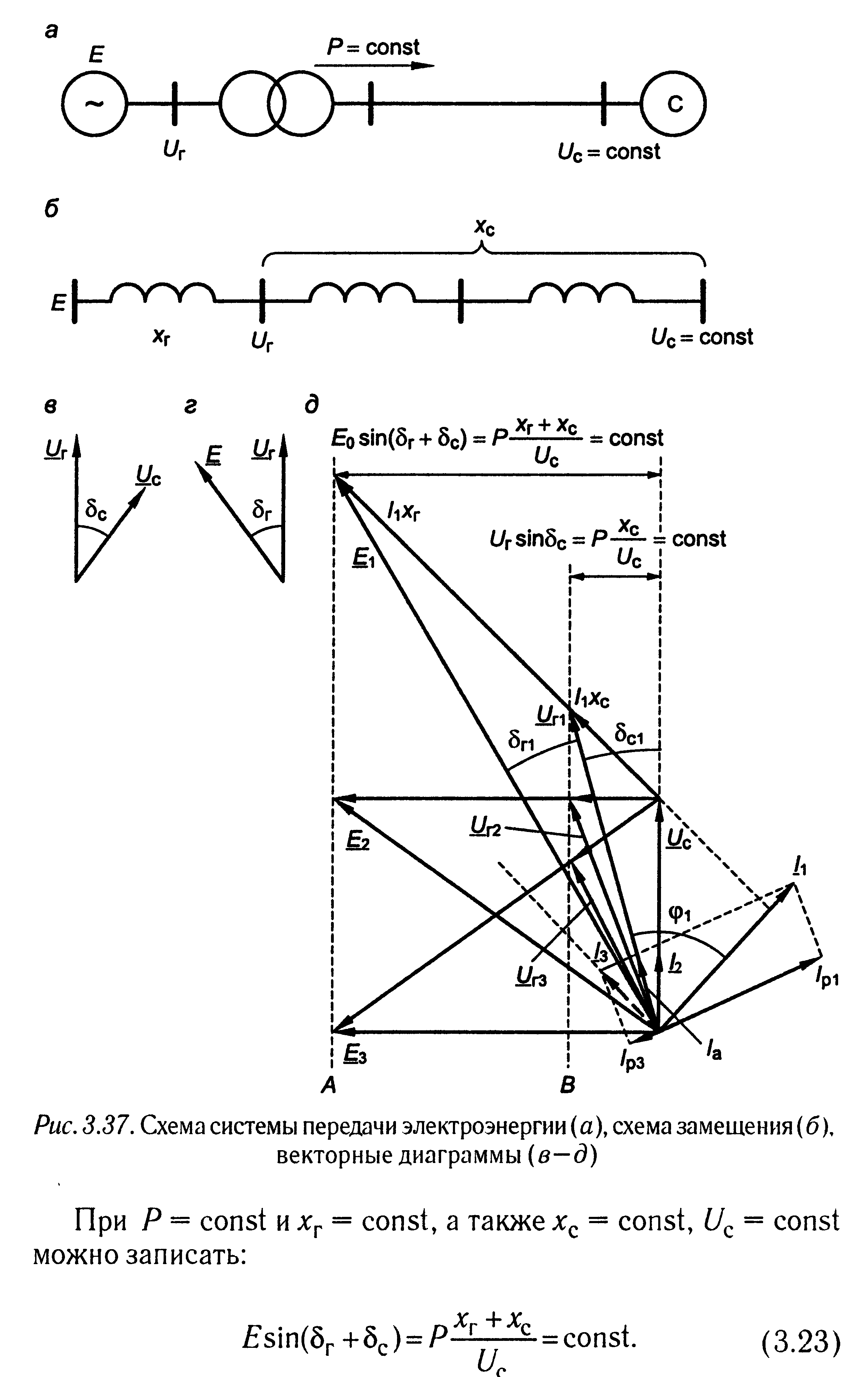
- статические тиристорные компенсаторы.

Рассмотрим принцип воздействия на режим напряжений

генератора, работающего параллельно с системой, через реактивное сопротивление Хс(рис. 3.37, а, б). В схеме замещения генератор представляется синхронным сопротивлением Хг (рис. 3.37, б). Будем полагать, что при изменении тока возбуждения генератора его активная мощность остается неизменной (Р = const). Напряжение на шинах системы Uc = const. Мощность, выдаваемая генератором в систему, при неучете активных сопротивлений описывается угловой характеристикой вида

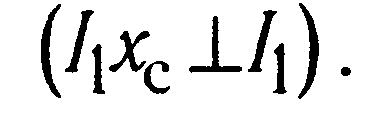
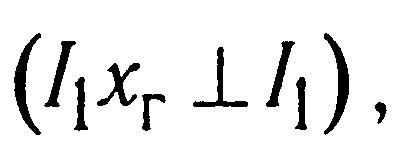


где δс -угол между вектором Uг напряжения на зажимах генератора и вектором Uс напряжения на шинах системы (рис. 3.37, в); δг - угол между векторами Е ЭДС генератора и Uг напряжения на его зажимах (рис. 3.37, г).



Отсюда видно, что при изменении тока возбуждения и соответствующем изменении ЭДС одновременно будут изменяться и углы δ Г, δ С.

Рассмотрим векторную диаграмму при различных токах

возбуждения, что будет соответствовать изменению реактивной составляющей тока статора генератора IР (рис. 3.37, д). Отложим вектор *UC* напряжения на шинах системы, тока *I1*, соответствующего активной мощности *Р* генератора и какому-то току возбуждения (какому-то cos *φ*). К вектору *UC* пристроим вектор падения напряжения в сопротивлении *хс*системы В результате получим вектор напряжения на зажимах генератора Uг1. Затем пристроим к нему вектор падения напряжения в сопротивлении хг генератора  после

чего получим вектор *Е* ЭДС генератора. Угол между *Uг1* и *I1*

