

**АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ****Виноградов А.В., Виноградова А.В.**

Реферат. Предложена трактовка эффективности систем электроснабжения, согласно которой основным критерием эффективности является минимизация издержек на функционирование системы электроснабжения при соблюдении определенных условий, связанных с надежностью электроснабжения, качеством электроэнергии и сроками осуществления технологических присоединений. Методологический подход к повышению эффективности систем электроснабжения сельских потребителей требует разработки критериев эффективности, которые позволили бы все мероприятия по повышению надежности электроснабжения, качества электроэнергии, сокращению сроков и повышению качества технологических присоединений привести к единым показателям, по которым можно оценить эффективность данных мероприятий. Издержки, возникающие при функционировании систем электроснабжения, можно разделить на стимулирующие и обеспечивающие. Обе эти составляющие, в свою очередь, так же разделяются, при этом в стимулирующие издержки входят те составляющие издержек, которые стимулируют электроснабжающие компании к соблюдению требований надёжности электроснабжения, качества электроэнергии, качеству оказания услуг техприсоединений. Регулирование стимулирующих издержек, к которым можно отнести ущербы от перерывов в электроснабжении, компенсационные издержки, упущенную выгоду и т.п. позволяет управлять эффективностью систем электроснабжения. К обеспечивающим издержкам отнесены инвестиционные вложения и эксплуатационные издержки, так как эти виды издержек обеспечивают возможность выполнения условий качества оказания услуг электроснабжающими компаниями. Все составляющие издержек связаны со значениями времени перерывов в электроснабжении, времени несоответствия качества электроэнергии и времени осуществления техприсоединений. Показаны зависимости составляющих издержек от времени перерывов в электроснабжении. Эти зависимости могут быть интерпретированы и в обратном варианте, как зависимости времени от издержек. Это их прочтение позволяет разрабатывать механизмы стимулирования энергокомпаний и потребителей к повышению надёжности электроснабжения, качества электроэнергии и качества услуг техприсоединения.

Ключевые слова: эффективность систем электроснабжения, ущерб от недоотпуска, показатель эффективности, стимулирование потребителей и энергоснабжающих организаций.

Введение. На основе проведённого в работах [1, 2, 3, 4] анализа понятия эффективности электроснабжения предложена следующая его трактовка: «Эффективность системы электроснабжения – это характеристика функционирования совокупности источников и систем преобразования, передачи и распределения электрической энергии с целью обеспечения потребителей электрической энергией с минимально возможными издержками при условии соблюдения заданных параметров качества электроэнергии и надежности электроснабжения, а также соблюдения сроков и качества технологических присоединений».

Методологический подход к повышению эффективности систем электроснабжения сельских потребителей требует разработки критериев эффективности, которые позволили бы все мероприятия по повышению надежности электроснабжения, качества электроэнергии, сокращению сроков и повышению качества технологических присоединений привести к единым показателям, по которым можно оценить эффективность данных мероприятий. Наиболее полно принятая на данный момент методология оценки надёжности и качества поставляемых товаров и оказываемых услуг для организации по управлению единой национальной (общероссийской) электрической

сетью и территориальных сетевых организаций изложена в [5] и изменениях к нему [6]. Однако предложенный в данных документах подход не лишён недостатков. Один из них – форма получения исходных данных, которая заключается в предоставлении данных по предлагаемому формам энергокомпаниями (на этом этапе информация может быть искажена). Не предусматривается автоматизация получения данных. В частности, оценка качества поставляемой электроэнергии производится на основе анализа количества поступающих жалоб на качество, хотя не все потребители имеют возможность его измерить. Так же не автоматизирован учёт количества и продолжительности перерывов в электроснабжении потребителей, что не позволяет получать объективные данные. Среди преимуществ методики [5] следует отметить довольно целостный подход и принятие в качестве основных критериев качества оказания услуг – времени прекращения подачи электроэнергии, времени осуществления техприсоединений.

Условия, материалы и методы исследований. Основным критерием эффективности является минимизация издержек на функционирование системы электроснабжения при соблюдении определенных условий, связанных с надежностью электроснабжения, каче-

ством электроэнергии и сроками осуществления технологических присоединений. Издержки в качестве основного критерия приняты исходя из того, что системы электроснабжения предназначены для поставки электроэнергии потребителям вне зависимости от того, выгодно это, или нет.

Издержки на функционирование системы электроснабжения можно выразить следующим образом:

$$\sum_1^n I_{\text{Э}}(t1...t2) = \sum_1^m I_{\text{Экспл}}(t1...t2) + \sum_1^g I_{\text{Инв}}(t1...t2) + \sum_1^j I_{\text{Ущерб}}(t1...t2) + \sum_1^h I_{\text{Комп}}(t1...t2) + \sum_1^k I_{\text{Проч}}(t1...t2) + \sum_1^q I_{\text{Уп.выг}}(t1...t2) \quad (1)$$

где 1...n (m или g, или j, или h, или k, или q) – количество операций по расходыванию средств (издержек) соответствующего типа за рассматриваемый интервал времени t1...t2; $\sum I_{\text{Экспл}}(t1...t2)$ – сумма издержек на эксплуатацию системы электроснабжения, включая все составляющие эксплуатации всех элементов системы (зарплата персонала, амортизация, налоги, запасные части, топливо, электроэнергия, потери электроэнергии и т.д.) за рассматриваемый интервал времени; $I_{\text{Инв}}(t1...t2)$ – сумма издержек на инвестирование в систему электроснабжения, включая все составляющие инвестиций за рассматриваемый интервал времени; $I_{\text{Ущерб}}(t1...t2)$ – сумма издержек на покрытие ущерба, возникающего при работе системы электроснабжения, включая все составляющие ущерба (ущерб от недоотпуска электроэнергии, ущерб от не(до)оплаты за электроэнергию потребителями, ущерб от аварий, прочие виды ущерба) за рассматриваемый интервал времени; $I_{\text{Комп}}(t1...t2)$ – сумма компенсационных издержек, возникающих при работе системы электроснабжения, включая все составляющие компенсаций за рассматриваемый интервал времени; $I_{\text{Проч}}(t1...t2)$ – сумма прочих издержек, возникающих при работе системы электроснабжения, включая все составляющие прочих издержек (благотворительность, реклама, социальные проекты, представительские расходы и т.д.) за рассматриваемый интервал времени; $I_{\text{Уп.выг}}(t1...t2)$ – сумма издержек, возникающих вследствие упущенной выгоды при работе системы электроснабжения, включая все составляющие (упущенная выгода от несвоевременного осуществления технологических присоединений, от несвоевременного выполнения реконструкции элементов системы электроснабжения и т.д.) за рассматриваемый интервал времени.

Предполагается, что издержки можно разделить на две категории по взаимному влиянию.

Первая из них – это издержки, стимулирующие к выполнению требований ограничений модели. К ним можно отнести издержки $I_{\text{Ущерб}}(t1...t2)$, $I_{\text{Комп}}(t1...t2)$, $I_{\text{Уп.выг}}(t1...t2)$, $I_{\text{Проч}}(t1...t2)$, так как они могут быть выражены в виде зависимости от $\sum I_{\text{стимул}} = (\sum I_{\text{Ущерб}}(t1...t2) + \sum I_{\text{Комп}}(t1...t2) + \sum I_{\text{Уп.выг}}(t1...t2) + \sum I_{\text{Проч}}(t1...t2)) = f(\sum(T_{\text{пл}i} + T_{\text{в}i})) = f(\sum T_{\text{пер}})$. То есть $\sum I_{\text{стимул}} = f(\sum T_{\text{пер}})$, где $\sum I_{\text{стимул}}$ – стимулирующие издержки, $\sum T_{\text{пер}} = \sum(T_{\text{пер} \text{пл}i} + T_{\text{пер} \text{в}i})$ – время перерывов в электроснабжении.

Аналогично $\sum I_{\text{стимул}} = f(\sum T_{\text{некач} \text{ЭЭ}})$ и $\sum I_{\text{стимул}} = f(\sum T_{\text{техприс}})$. И каждый вид издержек этой группы по отдельности можно выразить в виде зависимости от, соответственно, времени перерывов в электроснабжении $\sum T_{\text{пер}}$, времени несоответствия качества электроэнергии $\sum T_{\text{некач} \text{ЭЭ}}$, времени превышения норматива осуществления технологических присоединений $\sum T_{\text{техприс}}$. В каждом случае зависимость будет такова, что с уменьшением $\sum T_{\text{пер}}$, соответственно, $\sum T_{\text{некач} \text{ЭЭ}}$, $\sum T_{\text{техприс}}$ издержки $\sum I_{\text{Ущерб}}(t1...t2)$, $\sum I_{\text{Комп}}(t1...t2)$, $\sum I_{\text{Уп.выг}}(t1...t2)$, $\sum I_{\text{Проч}}(t1...t2)$ и их сумма $\sum I_{\text{стимул}}$ будут сокращаться.

Ко второй группе издержек можно отнести $\sum I_{\text{Экспл}}(t1...t2)$, $\sum I_{\text{Инв}}(t1...t2)$ и их сумму (обозначим ее как $\sum I_{\text{обесп}}$), так как это издержки, обеспечивающие выполнение указанных выше ограничений. Здесь зависимость от $\sum T_{\text{пер}}$ является обратной – то есть при сокращении $\sum T_{\text{пер}}$ издержки $\sum I_{\text{обесп}} = f(\sum T_{\text{пер}})$, $\sum I_{\text{обесп}} = f(\sum T_{\text{некач} \text{ЭЭ}})$, $\sum I_{\text{обесп}} = f(\sum T_{\text{техприс}})$.

Справедливо указывать и обратную зависимость, то есть зависимость времени перерывов от издержек на электроснабжение. В реальности зависимости $\sum I_{\text{стимул}} = f(\sum T_{\text{пер}})$, $\sum I_{\text{обесп}} = f(\sum T_{\text{пер}})$ могут иметь, и вероятнее всего, имеют нелинейный характер.

Получив зависимости издержек на электроснабжение от соответствующих факторов $\sum I_3 = f(\sum T_{\text{пер}})$, $\sum I_3 = f(\sum T_{\text{некач} \text{ЭЭ}})$, $\sum I_3 = f(\sum T_{\text{техприс}})$, можно сделать выводы о соответствии системы электроснабжения требованиям надежности, качества электроэнергии и выполнению сроков осуществления техприсоединений. При невыполнении одного или нескольких ограничений можно выполнить корректировку инвестиционных программ, принимать решения о приоритетах развития системы электроснабжения с учетом необходимости выполнения того ограничения, которое пока не выполняется. Анализ составляющих издержек позволит скорректировать это оптимальное время так, чтобы оно было не выше допустимого.

Таким образом, проблемы некачественной электроэнергии, недостаточной надежности и несвоевременного техприсоединения заключаются в отсутствии сбалансированности между стимулирующими и обеспечивающими издержками. Следует разрабатывать технико-экономические механизмы правильного ба-

лансирования указанных издержек. В то же время, все мероприятия по совершенствованию техники, технологий, организационных структур в системе электроснабжения можно рассматривать в разрезе указанных зависимостей и делать выводы об их эффективности.

Анализ и обсуждение результатов исследований. Как было указано выше, к стимулирующим издержкам можно отнести издержки $I_{\text{ущерб } i(t1...t2)}$, $I_{\text{компл } i(t1...t2)}$, $I_{\text{уп выг } i(t1...t2)}$, $I_{\text{проч } i(t1...t2)}$, так как они могут быть выражены в виде зависимости:

$$\begin{aligned} \Sigma I_{\text{стимул}} &= (\Sigma I_{\text{ущерб } i(t1...t2)} + \Sigma I_{\text{компл } i(t1...t2)} + \\ &+ \Sigma I_{\text{уп выг } i(t1...t2)} + \Sigma I_{\text{проч } i(t1...t2)}) = \\ &= f(\Sigma(T_{\text{пл } i} + T_{\text{в } i})) = f(\Sigma T_{\text{пер}}). \end{aligned} \quad (2)$$

То есть $\Sigma I_{\text{стимул}} = f(\Sigma T_{\text{пер}})$, где $\Sigma I_{\text{стимул}}$ – стимулирующие издержки, $\Sigma T_{\text{пер}} = \Sigma(T_{\text{пер пл } i} + T_{\text{пер в } i})$ – время перерывов в электроснабжении, представляющее собой сумму времени плановых перерывов $T_{\text{пл } i}$ и времени перерывов аварийных $T_{\text{пер в } i}$.

Покажем анализ зависимостей составляющих стимулирующих издержек от времени перерывов в электроснабжении. Издержки $I_{\text{ущерб откл } i(t1...t2)}$ – это сумма издержек на покрытие ущерба, возникающего при отключениях в системе электроснабжения за рассматриваемый интервал времени.

Зависимость $\Sigma I_{\text{ущерб откл } i(t1...t2)} = f(\Sigma T_{\text{пер}})$ можно представить как произведение времени перерывов в электроснабжении и удельного ущерба от устранения отключений:

$$\begin{aligned} \Sigma I_{\text{ущерб откл } i(t1...t2)} &= \Sigma T_{\text{пер}} \cdot U_{\text{устр откл}}, \text{ руб,} \\ \text{где } U_{\text{устр откл}} &= \text{удельный ущерб от устранения отключений, руб/ч.} \end{aligned}$$

Определению удельного ущерба от отключений посвящено множество работ, например [7, 8, 9]. Однако в этих работах под удельным ущербом понимается ущерб, наносимый отключением электроснабжения потребителям, а не электроснабжающим компаниям. В то же время отключениями наносится ущерб и снабжающим организациям (в настоящей работе рассмотрены электросетевые организации). Он складывается из дополнительных расходов, которые вынуждена нести электросетевая компания вследствие недоотпуска электроэнергии потребителям. Это, в первую очередь, расходы на устранение отключения.

Расходы на устранение отключения ($I_{\text{устр откл}}$) в каждом конкретном случае складываются из затрат на оплату труда работников, занятых устранением причин отключения, затрат на горюче-смазочные материалы (ГСМ) для доставки работников к месту повреждения и, в случае использования техники, на производство работ, затрат на расходные материалы, замену оборудования при выходе его из строя и тому подобные затраты, характерные для рассматриваемой организации. Удельные расходы на устранение отключения ($U_{\text{устр откл}}$) можно определить как среднестатистиче-

ские часовые расходы на устранение отключений, определённые следующим образом:

$$U_{\text{устр откл}} = \frac{\Sigma_1^n I_{\text{устр откл } i}}{n_{\text{откл}} \cdot \Sigma_1^n T_{\text{пер } i}}, \text{ руб/ч.} \quad (3)$$

где $\Sigma_1^n I_{\text{устр откл } i}$ – сумма расходов на устранение отключений за время статистических наблюдений или за год, руб;

$n_{\text{откл}}$ – количество отключений за данный период времени, един;

$\Sigma_1^n T_{\text{пер } i}$ – сумма времени перерыв в электроснабжении за данный период времени, ч.

Таким образом, будет определено удельное значение расходов на устранение отключения. Используя выше указанную формулу для определения ущерба от устранения отключений, отнесённого к энергоснабжающей (по факту – к электросетевой) организации получим линейную зависимость $\Sigma I_{\text{ущерб откл } i(t1...t2)} = \Sigma T_{\text{пер}} \cdot U_{\text{устр откл}}$, которую можно использовать в прогнозных расчётах.

Безусловно, можно рассмотреть более подробно каждый случай отключения, его причины и все составляющие расходов на их устранение, и такой подход возможен в определённых условиях, применительно к определению экономических показателей конкретного случая отключения, но при исследовании достаточно большого объёма отключений можно вполне использовать удельные значения ущерба с достаточной точностью.

Следующая составляющая стимулирующих издержек – $I_{\text{уп выг откл } i(t1...t2)}$. Она в случае перерывов в электроснабжении включает в себя ущерб от не(до)оплаты за электроэнергию потребителями, который связан с тем, что во время перерыва в электроснабжении потребителем не производится оплата за электроэнергию, что является, безусловно, ущербом для энергоснабжающей организации. Эту составляющую ущерба можно определить следующим образом:

$$\Sigma I_{\text{уп выг откл } i(t1...t2)} = \Sigma T_{\text{пер}} \cdot C_{\text{удээ}}, \text{ руб,} \quad (4)$$

где $C_{\text{удээ}}$ – удельная почасовая стоимость неоплаченной электроэнергии, руб/ч.

В соответствии с указанным выражением, задача определения ущерба энергоснабжающей организации от не(до)оплаты за электроэнергию (упущенной выгоды) потребителями может определяться на основании прогнозных значений $C_{\text{удээ}}$.

Удельная почасовая стоимость неоплаченной электроэнергии определяется исходя из статистических или прогнозных значений. В случае наличия достаточного объёма статистических данных по объёмам неоплаченной (в данном случае этот объём равен объёму недоотпущенной) электроэнергии $W_{\text{неопл}}$ и средневзвешенного тарифа на электроэнергию $\Phi_{\text{ср.взв}}$ можно рассчитать:

$$C_{\text{удээ}} = \Sigma_1^n W_{\text{неопл}} \cdot \Phi_{\text{ср.взв}}, \text{ руб/ч.} \quad (5)$$

При этом средневзвешенный тариф опре-

деляется:

$$\Phi_{\text{ср.вс}} = \frac{\sum_1^n \Phi_i \cdot W_i + \sum_1^m \Phi_j \cdot W_j + \dots}{\sum_1^n W_i + \sum_1^m W_j + \dots}, \text{ руб / кВт} \cdot \text{ч} \quad (6)$$

где Φ_i, Φ_j – значения тарифов на электроэнергию для однотипных групп потребителей, руб/кВт·ч; W_i, W_j – объём потребления электроэнергии потребителями, имеющими одинаковый соответствующий тариф Φ_i или Φ_j .

При расчёте конкретных случаев перерывов следует использовать в расчётах тот тариф, который действует на момент перерыва в электроснабжении. При расчёте данной составляющей ущерба для сетевой организации в качестве тарифа следует принимать ту долю конечного тарифа на электроэнергию, которая предусмотрена как доля сетевой организации.

Компенсационная составляющая стимулирующих затрат, связанная с отключениями (перерывами в электроснабжении) $I_{\text{комп откл } i(t1...t2)}$ появляется при превышении количества и продолжительности отключений и включает в себя затраты, которые несёт электросетевая организация в случае, если она превышает допустимую продолжительность перерывов в электроснабжении. Непосредственно действующих подобных экономических механизмов нет, но они предлагаются с учётом появления возможностей использования в сетях систем мониторинга качества электроэнергии и надёжности электроснабжения [10, 11].

Санкции в случае несоблюдения количества и продолжительности перерывов в электроснабжении можно осуществлять несколькими способами. Это изменение стоимости электроэнергии подобно её изменению в случае несоблюдения параметров качества электроэнергии [12] или посредством предоставления потребителю без оплаты определённого объёма электроэнергии, или посредством выплаты потребителю определённой суммы компенсации.

В любом случае данную составляющую ущерба можно определить:

$$\sum I_{\text{комп откл } i(t1...t2)} = K_{\text{с над}} \cdot (\sum_1^n T_{\text{пер}} - \sum_1^n T_{\text{пер, доп}}), \quad (7)$$

где $K_{\text{с над}}$ – компенсационная сумма выплат потребителю, руб/ч (или стоимость отпущенной бесплатно электроэнергии, или разница в стоимости электроэнергии); $\sum_1^n T_{\text{пер}}$ – суммарное время перерывов в электроснабжении, ч; $\sum_1^n T_{\text{пер, доп}}$ – допустимое суммарное время перерывов в электроснабжении, ч.

И последняя составляющая стимулирующих издержек, связанная с отключениями (перерывами в электроснабжении) – прочие издержки $I_{\text{проч откл } i(t1...t2)}$, которые могут заключаться в судебных издержках, связанных, например, с перерывами в электроснабжении потребителей и зависящих, в том числе и от времени перерывов в электроснабжении, других издержках, которые необходимо рассматривать в конкретных случаях и которые связа-

ны с перерывами в электроснабжении за рассматриваемый интервал времени. Так, например, сюда можно отнести компенсации за травмы, полученные персоналом компании в процессе выполнения служебных обязанностей, так и компенсации сторонним лицам или их родственникам в случае травм или смертельных случаев, связанных с электроустановками, владельцами которых является рассматриваемая энергокомпания.

Другие прочие издержки связаны с выплатой энергоснабжающей (фактически в данном случае электросетевой) компанией компенсации потребителям, связанной с выходом из строя оборудования потребителя. Эти компенсации производятся в настоящее время в том случае, если в суде доказана связь между перерывом в электроснабжении и выходом из строя оборудования потребителя. В целом, при наличии достаточных статистических данных, можно определить $\sum I_{\text{проч } i(t1...t2)}$ следующим образом:

$$\sum I_{\text{проч откл } i(t1...t2)} = I_{\text{проч уд откл}} \cdot \sum_1^n T_{\text{пер}}, \quad (8)$$

где $I_{\text{проч уд откл}}$ – удельное значение ущерба от прочих причин, руб/ч;

$\sum_1^n T_{\text{пер}}$ – время перерывов в электроснабжении за рассматриваемый период времени.

Таким образом, все составляющие стимулирующих издержек, возникающих у электросетевой организации вследствие возникновения в её сетях отключений, приведших к перерывам в электроснабжении потребителей, зависят от суммарного времени перерывов в электроснабжении.

Регулировать значение данных издержек возможно с помощью всех составляющих. Наиболее эффективно управлять санкционной составляющей, изменяя нормативно значение компенсации, выплачиваемой потребителю в случае превышения допустимого времени перерывов в его электроснабжении. Это действительно стимулирует электросетевую организацию к принятию мер, в первую очередь, технических, к повышению надёжности электроснабжения потребителей и, соответственно, к сокращению времени перерывов в электроснабжении. Аналогично можно рассмотреть и зависимость стимулирующих издержек от времени несоответствия качества электроэнергии и от времени осуществления техприсоединений.

К обеспечивающим издержкам относятся эксплуатационные издержки $\sum I_{\text{экспл } i(t1...t2)}$ и инвестиции $\sum I_{\text{инв } i(t1...t2)}$, их сумма и есть $\sum I_{\text{обесп}}$, так как это издержки, обеспечивающие выполнение ограничений модели эффективности систем электроснабжения. Методы расчёта инвестиций и эксплуатационных издержек достаточно хорошо известны. Так, в литературе по надёжности электроснабжения приводятся методики определения времени восстановления при применении различных

видов оборудования, обладающих различной надёжностью [7, 9, 13].

Расчёты, проведённые в [14, 15, 16, 17] показывают, что инвестиционные вложения в замену оборудования электрических сетей приводят к снижению времени восстановления электроснабжения и времени плановых отключений. В частности, замена голого провода на СИП приводит к значительному снижению частоты отказов (в 5-10 раз) и вероятности отказов (в 1,1-1,3 раза), недоотпуска электроэнергии (в 10-30 раз) ущерба от недоотпуска электроэнергии потребителям (в 20-30 раз). Это достигается, в частности, за счёт сокращения времени восстановления с 5-6 ч до 1,5-2ч и времени плановых отключений.

Эксплуатационные затраты имеют примерно одинаковую структуру для различных организаций, возможны некоторые различия составляющих и, конечно, разный объем затрат по составляющим. Их можно представить следующим образом:

$$\Sigma I_{\text{экс пл}} i(t1...t2) = \Sigma Z_{\text{оп л тр}} i(t1...t2) + \Sigma Z_{\text{тр и то}} i(t1...t2) + \Sigma Z_{\text{ам морт}} i(t1...t2) + \Sigma Z_{\text{то пл}} i(t1...t2) + \Sigma Z_{\text{пред ст}} i(t1...t2) + \Sigma Z_{\text{жкх}} i(t1...t2) + \Sigma Z_{\text{проч}} i(t1...t2), \quad (9)$$

где $\Sigma Z_{\text{оп л тр}} i(t1...t2)$ – сумма затрат на оплату труда сотрудников; $\Sigma Z_{\text{тр и то}} i(t1...t2)$ – сумма затрат на текущий ремонт и обслуживание оборудования, в том числе запасные части, расходные материалы; $\Sigma Z_{\text{ам морт}} i(t1...t2)$ – сумма затрат на амортизацию основных фондов; $\Sigma Z_{\text{то пл}} i(t1...t2)$ – сумма затрат на оплату топлива и энергетических ресурсов; $\Sigma Z_{\text{пред ст адм}} i(t1...t2)$ – представительские и административные расходы; $\Sigma Z_{\text{жкх}} i(t1...t2)$ – сумма затрат на оплату услуг ЖКХ; $\Sigma Z_{\text{проч}} i(t1...t2)$ – прочие затраты (структура прочих затрат разная для разных организаций).

Инвестиционные издержки в основном состоят из капитальных затрат на оборудование, строительство зданий и сооружений, информационные системы, системы безопасности и т.п.. Структура инвестиционных затрат может быть раскрыта следующим образом:

$$\Sigma I_{\text{экс пл}} i(t1...t2) = \Sigma K_{\text{обор}} i(t1...t2) + \Sigma K_{\text{зд и соор}} i(t1...t2) + \Sigma K_{\text{инф сист}} i(t1...t2) + \Sigma K_{\text{безоп}} i(t1...t2) + \Sigma K_{\text{проч}} i(t1...t2), \quad (9)$$

где $\Sigma K_{\text{обор}} i(t1...t2)$ – капитальные затраты на оборудование; $\Sigma K_{\text{зд и соор}} i(t1...t2)$ – капитальные затраты на строительство; $\Sigma K_{\text{инф сист}} i(t1...t2)$ – капитальные затраты на создание информационных систем; $\Sigma K_{\text{безоп}} i(t1...t2)$ – капитальные затраты на создание систем безопасности; $\Sigma K_{\text{проч}} i(t1...t2)$ – капитальные затраты прочие

(например, связанные с выполнением НИОКР, созданием опытных объектов и т.п.).

Зависимость каждой составляющей как эксплуатационных, так и инвестиционных издержек от времени перерывов в электрообеспечении, времени несоответствия качества электроэнергии и времени осуществления техприсоединений можно представить через удельные значения, определённые с учётом статистических данных конкретной компании за заданный период времени или на основании расчётов по существующим методикам определения эксплуатационных затрат с учётом надёжности электроснабжения, качества электроэнергии и объёмов техприсоединений и нормативов (почасовая ставка оплаты труда, нормы приобретения запчастей и т.п.), принятым в исследуемых энергокомпаниях.

Основной трудностью объективной оценки текущей эффективности систем электроснабжения является отсутствие возможности автоматического получения информации о таких основных факторах, как время перерывов в электроснабжении, время несоответствия качества электроэнергии требованиям нормативных документов, превышение времени осуществления техприсоединений. Автоматизация получения этих данных в полном объёме требует создания интеллектуальных электрических сетей, оснащённых системами мониторинга, контроля, учёта и управления [11, 18, 19].

Выводы. Издержки, возникающие при функционировании систем электроснабжения, можно разделить на стимулирующие и обеспечивающие. Регулирование стимулирующих издержек, к которым можно отнести ущербы от перерывов в электроснабжении, компенсационные издержки, упущенную выгоду и т.п., позволяет управлять эффективностью систем электроснабжения. Все составляющие издержек связаны со значениями времени перерывов в электроснабжении, времени несоответствия качества электроэнергии и времени осуществления техприсоединений. Показанные зависимости составляющих издержек от времени перерывов в электроснабжении могут быть интерпретированы и в обратном варианте, как зависимости времени от издержек. Это их прочтение позволяет разрабатывать механизмы стимулирования энергокомпаний и потребителей к повышению надёжности электроснабжения, качества электроэнергии и качества услуг техприсоединения.

Литература

1. TIME FACTOR FOR DETERMINATION OF POWER SUPPLY SYSTEM EFFICIENCY OF RURAL CONSUMERS/Bolshev V.E., Vasilev A.N., Vinogradov A.V., Semenov A.E., Borodin M.V.//Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development Сер. "Advances in Environmental Engineering and Green Technologies" . – Hershey, Pennsylvania, 2018. – С. 394-420.
2. Большев В.Е. Обзор зарубежных источников, посвященных повышению эффективности систем электроснабжения / В.Е. Большев, А.В. Виноградов // Энергосбережение и эффективность в технических системах Материалы IV Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специ-

- алистов. Тамбовский государственный технический университет. – Тамбов. – 2017. - С. 372-373.
3. Виноградов А. В. Время осуществления технологического присоединения к электрическим сетям как фактор эффективности систем электроснабжения /А. В. Виноградов, А. В. Виноградова, А. А. Кучинов// Вестник НГИЭИ. - 2017. - №6 (73). - С. 54-60
 4. Виноградов А. В. К определению эффективности систем электроснабжения// Вестник НГИЭИ. - 2017. - №7 (74). - С. 26-35
 5. Приказ Минэнерго РФ от 29 ноября 2016 г. № 1256 «Об утверждении методических указаний по расчету уровня надежности и качества поставляемых услуг для организации по управлению единой национальной (Общероссийской) электрической сетью и территориальных сетевых организаций»
 6. Приказ Минэнерго РФ от 21 июня 2017 г. № 544 «О внесении изменений в Методические указания по расчету уровня надежности и качества поставляемых услуг для организации по управлению единой национальной (Общероссийской) электрической сетью и территориальных сетевых организаций», утвержденных приказом Минэнерго России от 29 ноября 2016 года № 1256
 7. Папков Б.В. Вероятностные и статистические методы оценки надёжности элементов и систем электроэнергетики: теория, примеры, задачи: учеб. пособие / Б.В. Папков, В.Л. Осокин. – Старый Оскол: ТНТ, 2017. – 424 с.
 8. Перова М.Б. Экономические проблемы и перспективы качественного электроснабжения сельскохозяйственных потребителей в России / М.Б. Перова. - М.: ИНП РАН, 2007. - 142 с.
 9. Анищенко В.А. Основы надежности систем электроснабжения: пособие для студентов специальности «Электроснабжение» / В.А. Анищенко, И.В. Колосова. - Мн.: БНТУ, 2008.- 151 с.
 10. Vinogradov A., Bolshev V., Vinogradova A., Kudinova T., Borodin M., Selesneva A. & Sorokin N. (2019) A System for Monitoring the Number and Duration of Power Outages and Power Quality in 0.38 kV Electrical Networks. In: Vasant P., Zelinka I., Weber GW. (eds) Intelligent Computing & Optimization. ICO 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 866: 1-10. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-00979-3_1
 11. Виноградов А.В. Новые мультиконтактные коммутационные системы и построение на их базе структуры интеллектуальных распределительных электрических сетей // Агротехника и энергообеспечение.– 2018. – №3 (20). – С. 7-20.
 12. Бородин М.В. Редакция методики корректировки стоимости потребленной электро-энергии в зависимости от её качества и алгоритм её реализации в соответствии с ГОСТ на качество электроэнергии / М. В. Бородин, А. В. Виноградов // Вестник НГИЭИ. - 2018. - №4 (83). - С. 54-64.
 13. Методика нормирования эксплуатационной надежности сельских распределительных электрических сетей среднего напряжения. 2009. – 36 с.
 14. Семенов А.Е., Селезнева А.О., Виноградов А.В. Сравнение показателей надежности воздушных и кабельных линий в городской и сельской местности. Основные направления развития техники и технологии в АПК: материалы VII всероссийской научно-практической конференции – Княгинино : НГИЭУ, 2015.– С. 71 – 75.
 15. Виноградов А.В. Анализ повреждаемости электрооборудования электрических сетей и обоснование мероприятий по повышению надежности электроснабжения потребителей / А.В. Виноградов, Р.А. Перьков // ВЕСТНИК НГИЭИ. – 2015. - №12(55). - С. 12-20.
 16. Калганова Е.В. Разработка программы повышения надежности электроснабжения потребителей Покровского РЭС филиала ПАО «МРСК Центра» - «Орелэнерго»: выпускная квалификационная работа (рук. к.т.н. Виноградов А.В.) по направлению подготовки 35.03.06 – Агроинженерия. – ФГБОУ /ВО Орловский ГАУ. – 2017. – 75с.
 17. Скутёва И.Д.. Разработка программы повышения надежности электроснабжения потребителей Покровского РЭС филиала ПАО «МРСК Центра» - «Орелэнерго»: выпускная квалификационная работа (рук. к.т.н. Виноградов А.В.) по направлению подготовки 35.04.06 – Агроинженерия. – ФГБОУ /ВО Орловский ГАУ. – 2018. – 82с.
 18. Michael T. Burr, "Reliability demands drive automation investments, " Public Utilities Fortnightly, Technology Corridor department, Nov. 1, 2003. Электронный ресурс. Заголовок с экрана. Режим доступа: <http://www.fortnightly.com/fortnightly/2003/11/technology-corridor>. Дата обращения 02.10.2018г.
 19. Smart Grids European Technology Platform Электронный ресурс. Заголовок с экрана. Режим доступа: www.smartgrids.eu Дата обращения 02.10.2018г.

Сведения об авторах:

Виноградов Александр Владимирович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории электро- и энергоснабжения и электробезопасности, доцент, e-mail: schkolamol@gmail.com
 Виноградова Алина Васильевна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории электро- и энергоснабжения и электробезопасности, e-mail: schkolamol@gmail.com
 ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Россия.

ANALYSIS OF THE MAIN COMPONENTS OF EFFICIENCY OF POWER SUPPLY SYSTEMS TO RURAL CONSUMERS

Vinogradov A.V., Vinogradova A.V.

Abstract. Interpretation of the efficiency of power supply systems is proposed, according to which the main criterion of efficiency is minimization of costs for the operation of the power supply system under certain conditions related to the reliability of power supply, power quality and timing of technological connections. The methodological approach to improving the efficiency of power supply systems for rural consumers requires the development of efficiency criteria that would allow all measures to improve the reliability of electricity supply, power quality, shorten time and improve the quality of technological connections to lead to uniform indicators by which to evaluate the effectiveness of these measures. The

costs arising from the operation of power supply systems can be divided into stimulating and providing. Both of these components, in turn, are also divided, while the stimulating costs include those components of costs that stimulate electricity supply companies to comply with the requirements of reliability of power supply, power quality, quality of services of technical connections. Regulation of incentive costs, which include damages from interruptions in power supply, compensation costs, lost profits, etc. allows you to manage the efficiency of power supply systems. Providing costs include investment and operating costs, since these types of costs provide the ability to fulfill the conditions of quality of services provided by electricity supply companies. All components of the costs associated with the values of the time of interruptions in the power supply, the time of the mismatch of the quality of electricity and the time of the technical connections. The dependencies of component costs on the time of interruptions in power supply are shown. These dependencies can be interpreted in the opposite version, as time dependencies on costs. This reading allows them to develop incentive mechanisms for energy companies and consumers to improve the reliability of power supply, power quality and quality of connection services.

Keywords: efficiency of power supply systems, damage from undersupply, efficiency indicators, stimulation of consumers and energy supply organizations.

References

1. TIME FACTOR FOR DETERMINATION OF POWER SUPPLY SYSTEM EFFICIENCY OF RURAL CONSUMERS/Bolshev V.E., Vasilev A.N., Vinogradov A.V., Semenov A.E., Borodin M.V.//V knige: Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development Ser. "Advances in Environmental Engineering and Green Technologies" Hershey, Pennsylvania, 2018. S. 394-420.
2. Bol'shev V.E. Obzor zarubezhnyh istochnikov, posvyashchennyh povysheniyu ehffektivnosti sistem ehlektrosnabzheniya / V.E. Bol'shev, A.V. Vinogradov // V sbornike: EHNergosberezhenie i ehffektivnost' v tekhnicheskikh sistemah Materialy IV Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii studentov, molodyh uchenykh i specialistov. Tambovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet. - 2017. - S. 372-373.
3. Vinogradov A. V. Vremya osushchestvleniya tekhnologicheskogo prisoedineniya k ehlektricheskim setyam kak faktor ehffektivnosti sistem ehlektrosnabzheniya /A. V. Vinogradov, A. V. Vinogradova, A. A. Kuchinov// Vestnik NGIEHI. - 2017. - №6 (73). - S. 54-60
4. Vinogradov A. V. K opredeleniyu ehffektivnosti sistem ehlektrosnabzheniya. Vestnik NGIEHI. - 2017. - №7 (74). - S. 26-35
5. Prikaz Minehnergo RF ot 29 noyabrya 2016 g. № 1256 «Ob utverzhdenii metodicheskikh ukazaniy po raschetu urovnya nadezhnosti i kachestva postavlyaemykh uslug dlya organizacii po upravleniyu edinoj nacional'noj (Obshcherossijskoj) ehlektricheskoy set'yu i territorial'nykh setevykh organizacij»
6. Prikaz Minehnergo RF ot 21 iyunya 2017 g. № 544 «O vnesenii izmenenij v Metodicheskie ukazaniya po raschetu urovnya nadezhnosti i kachestva postavlyaemykh uslug dlya organizacii po upravleniyu edinoj nacional'noj (Obshcherossijskoj) ehlektricheskoy set'yu i territorial'nykh setevykh organizacij», utverzhdennykh prikazom Minehnergo Rossii ot 29 noyabrya 2016 goda № 1256
7. Papkov B.V. Veroyatnostnye i statisticheskie metody ocenki nadyozhnosti ehlementov i sistem ehlektroehnergetiki: teoriya, primery, zadachi: ucheb. posobie / B.V. Papkov, V.L. Osokin. – Staryj Oskol: TNT, 2017. – 424 s.
8. Perova M.B. EHkonomicheskie problemy i perspektivy kachestvennogo ehlektrosnabzheniya sel'skohozyajstvennykh potrebitelej v Rossii / M.B. Perova. - M.: INP RAN, 2007. - 142 s.
9. Anishchenko V.A. Osnovy nadezhnosti sistem ehlektrosnabzheniya: posobie dlya studentov special'nosti «EHlektrosnabzhenie» / V.A. Anishchenko, I.V. Kolosova. - Mn.: BNTU, 2008.- 151 s.
10. Vinogradov A., Bolshev V., Vinogradova A., Kudinova T., Borodin M., Selesneva A. & Sorokin N. (2019) A System for Monitoring the Number and Duration of Power Outages and Power Quality in 0.38 kV Electrical Networks. In: Vasant P., Zelinka I., Weber GW. (eds) Intelligent Computing & Optimization. ICO 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 866: 1-10. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-00979-3_1
11. Vinogradov A.V. Novye mul'tikontaktnye kommutacionnye sistemy i postroenie na ih baze struktury intellektual'nykh raspredelitel'nykh ehlektricheskikh setej. - Agrotekhnika i ehnergoobespechenie. - №3 (20). – 2018. – S. 7-20.
12. Borodin M.V. Redakciya metodiki korrektyrovki stoimosti potreblennoj ehlektro-ehnergii v zavisimosti ot eyo kachestva i algoritm eyo realizacii v sootvetstvi s GOST na kachestvo ehlektroehnergii / M. V. Borodin, A. V. Vinogradov // Vestnik NGIEHI. - 2018. - №4 (83). - S. 54-64.
13. Metodika normirovaniya ehkspluatacionnoj nadezhnosti sel'skikh raspredelitel'nykh ehlektricheskikh setej srednego napryazheniya. 2009. – 36 s.
14. Semenov A.E., Selezneva A.O., Vinogradov A.V. Sravnenie pokazatelej nadezhnosti vozdušnykh i kabel'nykh linij v gorodskoj i sel'skoj mestnosti. Osnovnye napravleniya razvitiya tekhniki i tekhnologii v APK: materialy VII vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii – Knyaginino : NGIEHU, 2015., s. 71 – 75
15. Vinogradov A.V. Analiz povrezhdaemosti ehlektrooborudovaniya ehlektricheskikh setej i obosnovanie meropriyatij po povysheniyu nadezhnosti ehlektrosnabzheniya potrebitelej / A.V. Vinogradov, R.A. Per'kov // VESTNIK NGIEHI. – 2015. - №12(55). - S. 12-20.
16. Kalganova E.V. Razrabotka programmy povysheniya nadezhnosti ehlektrosnabzheniya potrebitelej Pokrovskogo REHS filiala PAO «MRSK Centra» - «Orelehnergo» vypusknaya kvalifikacionnaya rabota (ruk. .k.t.n. Vinogradov A.V.) po napravleniyu podgotovki 35.03.06 – Agroinzheneriya. – FGBOU /VO Orlovskij GAU. – 2017. – 75s.
17. Skityova I.D.. Razrabotka programmy povysheniya nadezhnosti ehlektrosnabzheniya potrebitelej Pokrovskogo REHS filiala PAO «MRSK Centra» - «Orelehnergo» vypusknaya kvalifikacionnaya rabota (ruk. .k.t.n. Vinogradov A.V.) po napravleniyu podgotovki 35.04.06 – Agroinzheneriya. – FGBOU /VO Orlovskij GAU. – 2018. – 82s.
18. Michael T. Burr, "Reliability demands drive automation investments, " Public Utilities Fortnightly, Technology Corridor department, Nov. 1, 2003. EHlektronnyj resurs. Zagolovok s ehkrana. Rezhim dostupa: <http://www.fortnightly.com/fortnightly/2003/11/technology-corridor>. Data obrashcheniya 02.10.2018g.
19. Smart Grids European Technology Platform EHlektronnyj resurs. Zagolovok s ehkrana. Rezhim dostupa: www.smartgrids.eu Data obrashcheniya 02.10.2018g.

Authors:

Alexander Vinogradov – PhD in Engineering, leading research officer, E-mail: winaleksandr@rambler.ru
Alina Vinogradova, PhD in Engineering, leading research officer, E-mail: alinawin@rambler.ru
Federal Scientific Agroengineering, Moscow, Russia