

В.П. ДРЁМИН, канд. техн. наук,
И.В. ДРЁМИН, канд. техн. наук,
ст. наук. сотр. **Ю.В. ШАФРАНОВИЧ**
Институт общей энергетики НАН Украины,
ул. Антоновича, 172, г. Киев, 03680, Украина,
Н.Ф.СИЛЕНКО,
ПП «КВАРЦБУД» ул. Шевченко, 119, пгт. Михайло-Коцюбинское,
Черниговский р-н, Черниговская обл., 15552, Украина

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПУТЕЙ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Предложен комплекс количественных характеристик систем централизованного теплоснабжения (ЦТ), позволяющий осуществлять оценку эффективности реализации различных вариантов целевых программ развития этих систем. Эффективность системы ЦТ оценивается на базе показателей управляемости, развития и эксплуатационных показателей в соответствии с критериями: сроки исполнения, проектная степень централизации системы теплоснабжения, надежность ее функционирования и финансовые затраты в эксплуатационной фазе.

К л ю ч е в ы е с л о в а: централизованное теплоснабжение, программа развития, топливно-энергетические ресурсы, эффективность, модернизация.

По разным причинам в Украине (прежде всего, в связи с высокой степенью интеграции в народно-хозяйственный комплекс бывшего СССР) для отопления используется, в основном, природный газ (до 80%) – самый дорогой вид первичного топлива. Сложилась парадоксальная ситуация, когда энергоресурсы с наиболее высокой ценностью используются при выработке низкотемпературного тепла, наименее критичного к этой ценности.

Этот парадокс свойственен многим странам, однако особенно ярко он проявляется именно в Украине, где, с одной стороны, процент использования природного газа для производства низкотемпературного тепла (отопления) является наибольшим в мире, а с другой – собственных запасов этого ресурса явно недостаточно. Очевидно, что сформировавшийся в энергетическом балансе страны перекося необходимо устранить в кратчайшее время. Осуществить это возможно разными путями, в

© ДРЬОМІН В.П., ДРЬОМІН І.В., ШАФРАНОВИЧ Ю.В., СИЛЕНКО Н.Ф., 2015

том числе и путем использования местных топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на региональном (районном уровне).

Однако такой подход (масштабное использование местных ТЭР) оправдан только в случае решения экологических проблем при сжигании топлива, что экономически целесообразно на крупных теплогенераторах (котельных) при централизованном теплоснабжении (ЦТ). Это вполне согласуется со сложившимся в Украине положением, когда подавляющая часть населенных пунктов областного и районного уровней имеют системы ЦТ с вполне сформировавшейся инфраструктурой. Намотившийся же «отход» от централизации имеет временный характер, обусловленный конъюнктурным ценообразованием на природный газ.

Для Украины в целом сложность такого пути ухода от «монотопливности» заключается, прежде всего, в необходимости привлечения огромных финансовых средств на модернизацию ЦТ. Однако на региональном уровне, при

наличии достаточных запасов местных ТЭР (торф, древесина и т. д.), это направление может оказаться вполне «подъемным» ввиду их высокой эффективности по сравнению с природным газом. При этом необходимым условием успешного проведения модернизации системы ЦТ силами и возможностями местного самоуправления является реализация программного метода посредством разработки соответствующей целевой программы развития (ЦПР) [1].

Основная сложность заключается в том, что на уровне местного самоуправления отсутствуют четкие цели, ориентиры и критерии выбора приемлемого пути как основы ЦПР из множества предлагаемых. Иными словами, с учетом огромного количества возможных вариантов необходимо построить комплекс количественных характеристик, имеющих ясный физический смысл, доступный руководству региона и населению для сравнительного анализа. Этому и посвящена настоящая статья.

Эффективность. Понятие эффективности является базовым для участника любой системы, процесса или объекта. При этом, ввиду многообразия участников и их отношений к системе, трактовки эффективности также весьма разнообразны [2]. Как правило, под нею подразумевается некий результат (как достижение поставленной цели), получаемый участником, отнесенный к понесенным этим участником затрат.

При модернизации системы ЦТ, ориентированной на замещение централизованно поставляемого природного газа местными ТЭР, в процесс вовлекается значительное количество участников – от рядовых потребителей и финансирующих организаций до цент-

ральных хозяйствующих субъектов и государственных ведомств. Следует также отметить, что даже для одного конкретного участника виды результатов (как и виды своих затрат) отличаются многообразием и чаще всего конфликтны по своей сути. Это определяет первостепенность задачи установления главного критерия эффективности при оценивании различных вариантов модернизации системы ЦТ населенного пункта.

Прежде всего, для исключения различных неоднозначностей эффективность системы (в общем смысле) должна рассматриваться всеми местными руководителями как степень (уровень) достижения главной цели ЦПР, отнесенная к понесенным затратам. При этом, как показано в [1], главной целью должно являться скорейшее достижение максимальной автономности и управляемости, что осуществимо при реализации принципа «с нуля». Иными словами, практически при «нулевом» начальном финансировании. Это, в свою очередь, определяет особую значимость временных параметров представляемых вариантов развития системы ЦТ при безусловном соблюдении необходимых технико-экономических показателей эксплуатации.

Каждый из вариантов развития характеризуется совокупностью материально-технологических характеристик и финансово-экономических параметров. Так, в Программе развития энергетического комплекса Городнянского района Черниговской области в качестве главной материально-технологической характеристики принят вид топлива (торф различной глубины переработки. Всего три вида – см. табл. 1).

Таблица 1 – Технологические варианты развития системы ЦТ

Технологический вариант	Кап. затраты, тыс. дол. США	Текущие затраты, тыс. дол. США /год	Чистая прибыль, тыс. дол. США /год	Норма прибыли, %	Срок окупаемости, лет
Использование псевдофрезерного торфа	510	22	38	8%	10
Использование торфяного полукокса	828	183	314	38%	3
Глубокая переработка торфа	1 075	274	1 224	114%	1

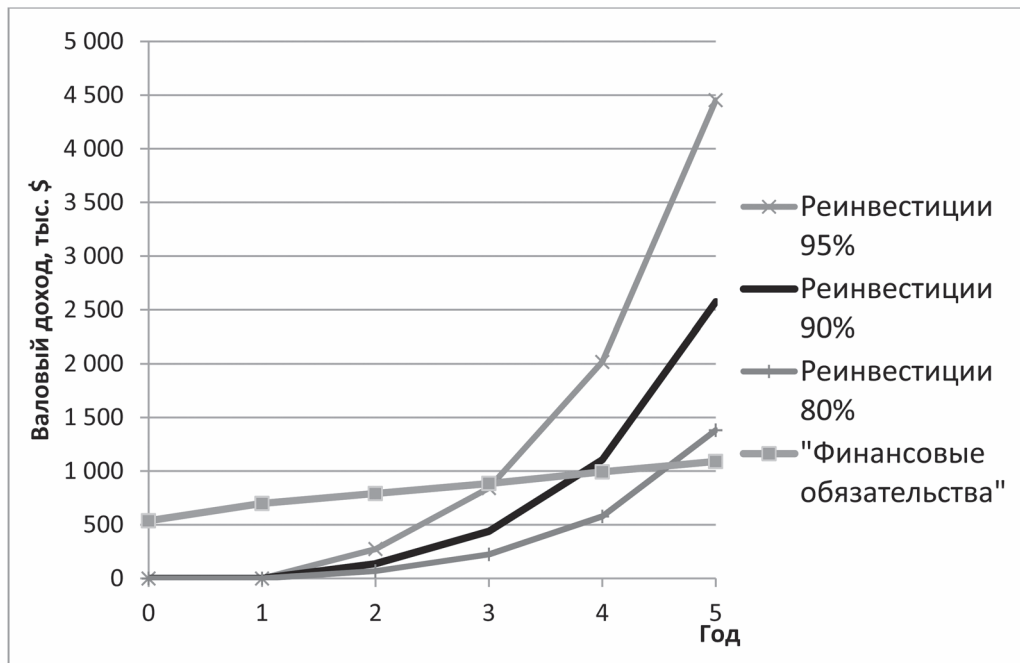


Рис. 1. Валовый доход модернизированной части системы ЦТ при заданном объеме финансирования в зависимости от величины реинвестиций

Главным финансово-экономическим параметром принята динамика (по годам) валового дохода модернизированной части системы ЦТ для каждого из вариантов (рис.1).

Приведенная выше формулировка эффективности является достаточно общей и для ее конкретизации необходимо определить ряд численных показателей, характеризующих собственно получаемый результат, затраты и ограничения. Иными словами, эффективностью модернизируемой системы ЦТ (каждого из вариантов) следует считать достигаемую степень управляемости, приведенную к темпам развития (модернизации) системы при условии всех поставленных эксплуатационно-технических показателей (ограничений). Достаточно полно совокупность характеристик по оценке эффективности представлена в [3]. Однако с учетом вышеизложенного целесообразно все параметры системы ЦТ разделить на две группы: по управляемости и по развитию.

Показатели управляемости. Управляемость означает возможность управляющего органа (коллектива, администрации, отдельного управленца или конкретного лица) по переводу системы из одного состояния в другое, позволяющее достичь цели при воздействии на

систему. При этом главным необходимым условием возможности управления является наличие соответствующих полномочий, получаемых либо по праву собственности, либо по переданным правам собственника системы. Иными словами, понятие «управляемость системы» всегда персонифицировано для конкретного органа управления, обладающего теми или иными полномочиями.

В условиях монотопливности (природный газ, электроэнергия) существующих систем ЦТ единственным путем по обеспечению энергетической безопасности региона (района, населенного пункта) и управляемости тарифной политики является переход на «собственные», местные ТЭР. Иными словами, соотношение местных (T_M) и внешних, централизованно поставляемых ТЭР ($T_{Ц}$), в общем топливном балансе ЦТ, может являться неким представлением косвенной управляемости топливом (Y_T) со стороны управляющего органа:

$$Y_T = \frac{T_M}{T_M + T_{Ц}} \quad (1)$$

Однако помимо косвенного управления топливом необходимо также обеспечить и непосредственную управляемость режимом функ-

ционирования системы ЦТ (в том числе и режима поставки местных ТЭР), особенно при экстремальных условиях (погодных, финансовых и т.д.). Это возможно при наличии прав собственности на материально-производственную часть системы, что обеспечивается соответствующей долей ее материальных активов. То есть

$$Y_p = P^* \frac{M_K}{100} \frac{M^*}{M}, \quad (2)$$

где Y_p – режимная управляемость; M_K – объем контроля (относительная доля активов управляющего органа в коллективной собственности в номинальном исчислении); P^* – привилегированность (вес доли прав собственности при принятии решений, обусловленный установленными привилегиями этой доли); M^* – материальные активы теплогенерации системы ЦТ; M – общие материальные активы системы ЦТ.

Конечным итогом любой модернизации, в том числе и при переходе на использование местных ТЭР в условиях пониженного платежеспособного спроса населения, является улучшение эксплуатационных показателей. Важнейший из этих показателей – расчётный, экономически оправданный тариф на тепловую энергию.

Прежде всего, тариф определяется расчетной себестоимостью и в случае продолжительного проведения «перехода» и неустойчивой экономической ситуации в Украине калькулировать себестоимость для каждого из вариантов целесообразно из сложившихся на момент принятия окончательного решения по ЦПР уровней зарплат, цен и тарифов. Это вытекает из предположения, что их абсолютные значения гораздо более неопределенны при прогнозировании, чем устоявшиеся соотношения между ними. При сравнительном же анализе вариантов именно эти соотношения имеют первостепенное значение.

Основным показателем, прямо влияющим на управляемость тарифной политикой в интересах населения, является не абсолютное значение тарифа, а некий «запас регулирования», ограниченный снизу себестоимостью. Ограничение же сверху должно осуществляться не коммерческой целесообразностью (особенно на ранних стадиях модернизации), а как минимум – значениями тарифа, действующего на момент запуска программы. Тогда в относительных единицах управля-

емость тарифами (Y_{TP}) хорошо отображается дополняющей до 1 долей себестоимости в тарифе. Иными словами, для i -го варианта развития:

$$Y_{TP_i} = 1 - \frac{C_{c_i}}{Tp_i}, \quad \text{при } Tp_i \leq Tp^*, \quad (3)$$

где Tp^* – тариф на тепловую энергию, действующий на момент сравнения вариантов ЦПР; C_{c_i} и Tp_i – соответственно себестоимость и тариф тепловой энергии по i -му варианту развития.

Таким образом, в связи с тем, что полная управляемость (Y_i) системы ЦТ по каждому i -му варианту представляется тремя компонентами в относительных измерениях, то ее численную оценку можно представить взвешенной суммой:

$$Y_i = k_T Y_{Ti} + k_P Y_{Pi} + k_{TP} Y_{TP_i} \\ \text{при } k_T + k_P + k_{TP} = 1, \quad (4)$$

где $k_T + k_P + k_{TP} = 1$ – весовые коэффициенты значимости. Оцениваются экспертным советом управляющего органа.

Абсолютное значение Y_i (как результат модернизации) по каждому i -му варианту пути развития не может являться критерием выбора окончательного решения, так как любой процесс совершенствования системы ЦТ, безусловно, сопряжен с различными затратами. Поэтому необходимо соотнести полученный результат с «ценой вопроса». Однако количество затраченных финансовых средств не всегда эквивалентно качеству модернизации, а сам процесс «перехода» количества финансов в качество системы далеко не однозначен. Тем более, что реализация принципа «с нуля» при осуществлении модернизации предусматривает «нулевые» первоначальные инвестиции, а приведение объемов самоинвестирования в процессе реализации по всем вариантам к начальным общим условиям является далеко не «прозрачным» вопросом.

Показатели развития. Развитие любой системы предполагает достижение установленной цели (результата). В настоящей работе, при установлении в качестве главной цели повышение автономности и управляемости, для сравнения вариантов путей развития необходимо уйти от конкретной стоимостной (в денеж-

ном исчислении) оценки достигаемой главной цели U . В качестве сравнительной оценки вариантов предлагается использовать обобщенный показатель процесса развития системы ЦТ (P). При этом показатель P должен отображать основные организационно-технические параметры процесса и, в конечном итоге, отвечать на вопрос: к какому итоговому результату Y_i (по управляемости) приведет конкретный i -й вариант развития, оцениваемый параметром P_i .

Основной характеристикой любого процесса являются его временные параметры, главный из которых – продолжительность процесса (T). Однако использование продолжительности в абсолютных единицах измерения (в годах) не позволяет соотнести ее в совокупности с иными параметрами процесса, представленными в относительных единицах (в процентах, в интервале 0–1 и т. д.). В этой связи целесообразно использовать приведенное сокращение продолжительности каждого i -го варианта (δT_i) относительно предельного (нормативного) периода модернизации (T^*), задаваемого в качестве исходного задания при условии 100%-го самоинвестирования на всем протяжении T_i . Иными словами, когда вся прибыль от модернизированной части системы ЦТ направляется на дальнейшее развитие системы:

$$\delta T_i = \frac{T^* - T_i}{T^*} \quad \text{при } \delta I_i = 100\%, \quad (5)$$

где $T_i = f(\delta I_i)$ – функциональная зависимость продолжительности i -го варианта от процента объема прибыли, направляемой для самоинвестирования δI_i .

Следующим важным временным параметром i -го варианта процесса развития является отрезок времени t_{yi} , после прохождения которого возможно снижение δI_i до заранее обусловленного (нормативного) процента δI_i^* и направление остатка на иные нужды. При этом: $T_i = T^*$ для всех $1 \leq i \leq n$. По аналогии с предыдущим:

$$\delta t_{yi} = \frac{T^* - t_{yi}}{T^*}. \quad (6)$$

Параметры δT_i и δt_{yi} i -го варианта развития характеризуют его способность к уменьшению срока полной модернизации и отвлечению при этом (по истечении отрезка времени t_{yi}) части прибыли на иные цели. Иллюстрация предпоч-

тений для двух вариантов развития (например, 1-го и 2-го) приведена на рис.2.

Сводная временная характеристика i -го варианта развития системы ЦТ (δT_i^t) может быть записана следующим выражением:

$$\delta T_i^t = k^T \delta T_i + k^t \delta t_{yi} \quad \text{при } k^T + k^t = 1, \quad (7)$$

где k^T и k^t – весовые коэффициенты значимости, соответственно, задачи уменьшения сроков модернизации и задачи скорейшего получения прибыли собственником системы ЦТ.

Несмотря на общую мировую тенденцию к снижению доли ЦТ, ее развитие в конкретном населенном пункте должно определяться, в том числе, количественными показателями роста. Объясняется это тем, что с ростом объема системы ЦТ ее эффективность, в общем случае, возрастает [4]. Тем более, что при ориентации на замещение природного газа местными ТЭР существует значительное количество объектов, для которых такой переход нереален, а эффективность централизованного использования «неудобного» топлива может существенно превышать соответствующие показатели локальных теплогенераторов. Это обусловлено следующими основными преимуществами крупных котельных:

- возможностью использования более неудобных, а потому и более дешевых видов местных ТЭР (древесные отходы и щепа, дрова в метровых чурках, кусковой и фрезерный торф, бытовые отходы);
- возможностью глубокой переработки органического топлива с применением высокотемпературного пиролиза и иных технологий получения попутных продуктов;
- более качественной и менее затратной очисткой дымовых газов;
- более полным и более эффективным годовым использованием оборудования за счет применения когенерации, тригенерации и организации горячего водоснабжения;
- меньшими удельными расходами на транспорт, хранение и утилизацию отходов.

Основным и по существу единственным показателем, характеризующим объем системы ЦТ с годовой тепловой нагрузкой $Q_{Ц}$ и ее значимость для населенного пункта с годовым теплотреблением $Q_{Г}$, является доля системы в годовом балансе теплоснабжения $\delta Q_{Ц} = Q_{Ц}/Q_{Г}$.

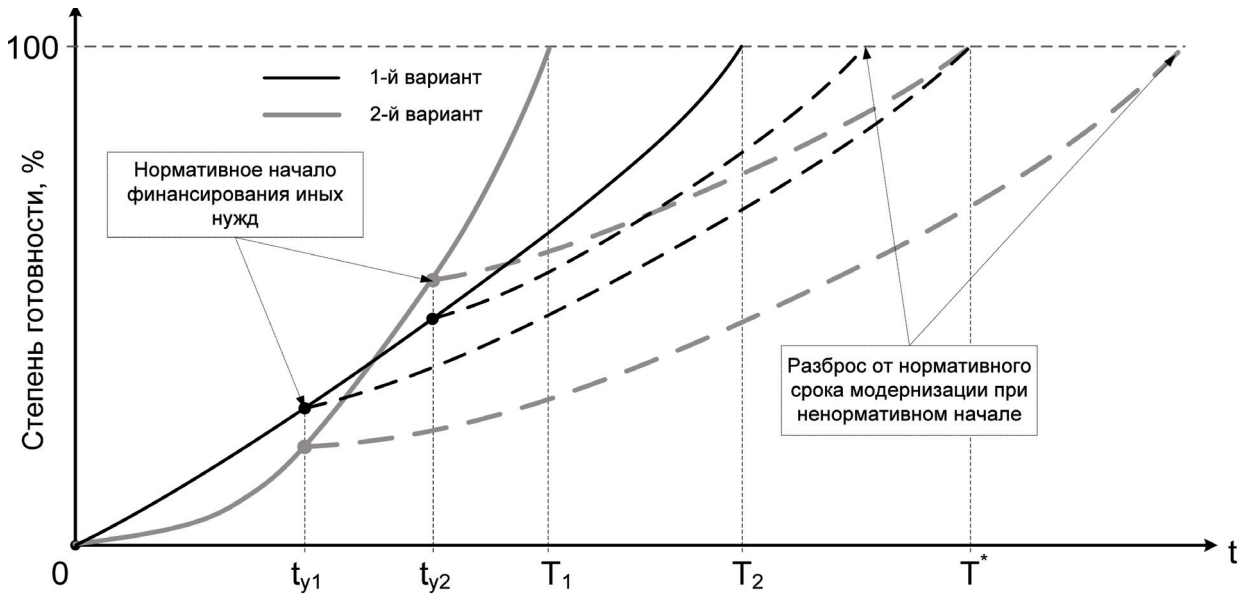


Рис. 2. Сопоставление двух вариантов развития по временным параметрам

Однако показатель $\delta Q_{Ц}$ не отображает динамики развития ЦТ и, кроме того, весьма чувствителен к трудно прогнозируемым тенденциям теплопотребления в частном жилом секторе и бизнесе. Поэтому для оценки развития i -го варианта системы ЦТ предлагается рассчитывать аналогичный показатель ($\delta Q_{Цi}$) следующим образом:

$$\delta Q_{Цi} = \frac{Q_{Цi}}{Q_{Ц}^* + Q_{Б}^*} \text{ при } Q_{Г} = Q_{Ц} + Q_{Б} + Q_{П}, \quad (8)$$

где $Q_{Цi}$ — расчетная годовая нагрузка системы ЦТ по i -му варианту; $Q_{Б}$ и $Q_{П}$ — соответственно годовые мощности потребителей, финансируемых из бюджета и не охватываемых зоной ЦТ и прочих потребителей населенного пункта; $Q_{Ц}^*$ и $Q_{Б}^*$ — соответственно годовые типовые нагрузки ЦТ и потребление бюджетной сферы, принятые как исходные данные для всех вариантов.

Важнейшим показателем развития системы ЦТ является надежность, под которой понимается возможность бесперебойного обеспечения потребителей теплоносителем надлежащего качества в необходимом количестве. При замещении природного газа местными ТЭР необходимо потребовать не уменьшенные показатели надежности, обусловленные возможными перебоями в поставках топлива в случае экстремальных погодных и иных условий.

Естественным и наиболее эффективным способом обеспечения бесперебойного теплоснабжения в экстремальных условиях является «не отказ» от природного газа как резервного топлива при полном сохранении соответствующей инфраструктуры. При этом различие в технических решениях по организации котельных ЦТ на местных ТЭР принципиального значения не имеют, а основным показателем надежности по i -му варианту необходимо принять степень гарантированного покрытия возникшего дефицита (δR_{Ti}) в поставках местных ТЭР резервным топливом:

$$\delta R_{Ti} = \min_j \left\{ \frac{N_i^{Rj} (N_i^{Ц} - N_i^{Mj})}{N_i^{Mj} N_i^{Ц}} \right\}, \quad (9)$$

где N_i^{Mj} , N_i^{Rj} — установленные мощности теплогенерации j -го вида местного ТЭР и соответствующего ему резерва; $N_i^{Ц}$ — установленная мощность теплогенерации ЦТ i -го варианта. Здесь в качестве резерва может выступать любое первичное топливо, имеющее техническую возможность применения либо на этом теплогенераторе (котельной), либо на иных, но технически способных «взять на себя» соответствующую тепловую нагрузку посредством тепловых сетей.

Выбор варианта развития. Приведенный комплекс технико-экономических показателей

позволяет достаточно объективно оценить эффективность различных путей модернизации системы ЦТ. По всем вариантам эти показатели сводятся к единой численной оценке эффективности (\mathcal{E}_i):

$$\mathcal{E}_i = \frac{Y_i}{P_i} = \frac{Y_i}{m^T \delta T_i^T + m^Q \delta Q_{Ци} + m^R \delta R_{Ti}}, \quad (10)$$

где P_i – параметр развития системы по i -му варианту; m^T, m^Q, m^R – весовые коэффициенты значимости, соответственно временные, количественные и качественные параметры развития системы ЦТ.

Окончательная оценка вариантов (10) осуществляется в баллах. Причем количество набираемых баллов заранее не определено. Иными словами, побеждает вариант с наибольшим значением \mathcal{E}_i . Здесь важным моментом является недопущение излишнего дробления проекта (по причине множества технических моментов) на необозримое количество вариантов. Как правило, технический проект модернизации системы ЦТ реализуется на основе различных технологий (вариантов) использования местных ТЭР. При этом по существу различие анализируемых вариантов проекта заключается в удельном весе каждой из технологий в общем балансе мощности генерации.

Например, для полной модернизации теплогенерации системы ЦТ г. Городня Черниговской обл. (5 котельных суммарной мощностью 12 Гкал/час) рассматривалось

четыре варианта проекта модернизации на основе технологий прямого сжигания торфа (Т), сжигания торфяного полукокса (ПК) и высокотемпературного пиролиза (глубокая переработка) торфа (ВП). При этом весовые коэффициенты значимости параметров управляемости и развития оценивались только специалистами городского хозяйства и администрации Городнянского района. Общие параметры для сравнительного анализа всех рассматриваемых вариантов приведены в табл. 2.

Выражение для численной оценки эффективности (10) является достаточно простым, наглядным и базируется на объективных показателях. Оно показывает уровень достижения главной цели модернизации (в баллах) каждого из вариантов развития в соотношении к некоей «единой» степени развития. Однако при сравнении вариантов существенную роль играет совокупность весовых коэффициентов, отображающих значимость того либо иного параметра. Иными словами, в случае, если принята совокупность весовых коэффициентов отображает текущую ситуацию в населенном пункте неадекватно, то проведенный анализ окажется неверным.

В условиях, когда на местах (в населенных пунктах районного масштаба) отсутствует опыт проведения экспертиз, а решения должны приниматься коллегиально (вплоть до утверждения местными советами), ведущее значение по минимизации субъективной ошибки приобретает процедура прохождения ЦПР. При этом для максимального использования опыта местных специалистов, безусловно, должно соблю-

Таблица 2 – Показатели вариантов модернизации системы ЦТ г. Городня

№ варианта	Структура генерации (Гкал)	Полная управляемость Y $k_T = 0,3$; $k_P = 0,2$; $k_{TP} = 0,5$	Показатель развития П $m^T = 0,4$; $m^Q = 0,4$; $m^R = 0,2$;	Эффективность \mathcal{E} (балл)	Срок окупаемости (лет)	Норма прибыли (%)
1	Т = 7; ПК = 5; ВП = 0	0,3	0,4	0,75	7,2	21
2	Т = 3; ПК = 5; ВП = 4	0,62	0,55	1,13	4,1	53
3	Т = 0; ПК = 5; ВП = 7	0,82	0,62	1,32	1,8	86
4	Т = 0; ПК = 2; ВП = 10	0,81	0,63	1,28	1,4	97

даться правило: когда оцениваются и корректируются только исходные параметры ЦПР (из области компетенции специалиста), но не окончательные результаты расчетов и сравнительного анализа вариантов в целом.

По существу, для качественного оценивания значимостей исходных параметров ЦПР необходимо применять методы экспертных оценок. Однако их широкое применение на местах по вышеназванным причинам проблематично. В этой связи предлагается упростить процедуру по принципу от общего к частотному, когда в первую очередь оцениваются весовые коэффициенты по наиболее общим параметрам, понятным большинству специалистов и руководителям. Частные же параметры оцениваются специалистами только после выработки единого мнения по общим параметрам. При разногласиях в результатах окончательного анализа их коррекция может осуществляться только посредством пересмотра исходных весовых коэффициентов. Иными словами, осуществляется процедура «последовательного взвешивания».

ВЫВОДЫ

1. В населенных пунктах районного масштаба и рассредоточенных промышленных объектах процедура прохождения ЦПР приобретает ведущее значение с точки зрения минимизации субъективных ошибок при коллегиальном принятии решений. Предложенная процедура принятия решений берет в расчет отсутствие четких целей на уровне местного самоуправления и соответствующих критериев выбора наиболее эффективного пути как основы ЦПР.

2. Управляемость системы ЦТ предопределяет потенциальные возможности (пути) ее развития и, тем самым, является главным критерием при выборе различных вариантов развития соотнесенных с показателями развития каждого из вариантов.

3. Приведенный комплекс количественных характеристик систем централизованного теплоснабжения позволяет осуществлять оценку относительной эффективности путей развития рассматриваемой ЦТ.

4. Ключевыми критериями эффективности выбранного пути развития, представленного в форме ЦПР, являются: сроки исполнения,

проектная степень централизации системы теплоснабжения, надежность ее функционирования и финансовые затраты в эксплуатационной фазе.

1. *Дрёмин В.П.* Методологические аспекты развития систем энергообеспечения регионов / В.П. Дрёмин, И.В. Дрёмин, Ю.В. Шафранович // Проблемы загальної енергетики. – 2013. – 1(32). – С. 20 – 27.
2. *Кузник И.В.* Централизованное теплоснабжение. Проектируем эффективность / И.В. Кузник – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 156 с.
3. *Никитин Е.Е.* Анализ структуры и эффективности функционирования централизованных систем теплоснабжения населенных пунктов / Е.Е. Никитин, А.В. Дутка, М.В. Тарновский // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2012. – № 2. – С. 16 – 27.
4. *Полуянов В.П.* Перспективы развития централизованного теплоснабжения в Украине в контексте государственно-частного партнерства / В.П. Полуянов, Р.С. Кравченко // Бізнесінформ. – 2012. – № 5. – С. 109–112.

Надійшла до редколегії: 10.08.2015