



УДК 622.695

**С.В.Коротеев**

ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

**МНОГОЭТАПНАЯ СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ  
КОМБИНИРОВАНИЯ ПОЛИТИК РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ**

Принятие решений по распределению ресурсов является достаточно важным направлением современной науки. Об этом свидетельствует большое количество монографий, публикаций в научных журналах, сборниках материалов конференций, посвященных этой проблеме. Но и сегодня многие вопросы, связанные с распределением ресурсов, не достаточно изучены.

Так, перед лицом, принимающим решение (ЛПР), часто возникает задача оптимизации с учетом нескольких критериев качества функционирования управляемой системы, состоящей из нескольких неоднородных объектов, обладающих частными целями и частными критериями качества функционирования. Кроме того, ввиду отсутствия точных сведений об основных исходных параметрах планирования, возникает необходимость при принятии решений пользоваться методами стохастического программирования. При среднесрочном распределении ресурсов по результатам реализации случайных событий в условиях реального производства ЛПР может воспользоваться возможностью корректирования принятого решения по распределению ресурсов. Методика распределения ресурсов многообъектной управляемой системы может быть представлена в виде схемы (рис.1).



Рисунок 1 - Методика распределения ресурсов многообъектной управляемой системы

На первом этапе ЛПР должно определить основные качественные и количественные критерии функционирования каждого из объектов системы. Для каждого объекта совокупность частных критериев представляет собой нечеткое множество.

На втором этапе ЛПР должно либо произвести ранжирование частных критериев, либо, что более эффективно в условиях неоднородности объектов системы, свести все частные критерии к одному обобщенному критерию, включающему всю совокупность частных критериев, - функцию полезности.

На третьем этапе ЛПР определяет функциональную зависимость приращения функции полезности каждого из объектов от объема выделяемых этому объекту ресурсов.

На четвертом этапе в зависимости от соотношения требуемых и наличных ресурсов ЛПР должно выбрать политику распределения ресурсов между объектами системы.

На пятом этапе ЛПР должно принять решение по распределению ресурсов.

На шестом этапе ЛПР должно осуществлять контроль за реализацией принятого решения. В случае, если решение по распределению ресурсов принято на несколько дискретных периодов времени, то после окончания каждого из периодов реализации управления ЛПР может производить коррекцию принятого решения с учетом результатов реализации случайных событий.

По окончании реализации плана ЛПР должно оценить результативность использованной политики и принятого решения.

Рассмотрим методику распределения финансов промышленного предприятия. Любое промышленное предприятие состоит из основных производственных и вспомогательных цехов (участков). Основной целью производственных участков является выпуск продукции. От степени выполнения планового задания зависит прибыль предприятия в целом. Цели вспомогательных производств связаны с обеспечением эффективной деятельности основного производства.

Финансирование подразделений предприятия производится с целью перевода предприятия в некоторое эталонное состояние. Но на практике достижение такого состояния не реально в связи с ограниченностью ресурсов предприятия. Поэтому говорят не об оптимальном распределении ресурсов, переводящем управляемую систему (предприятие) в эталонное состояние, а о наилучшем, переводящем предприятие в состояние с наименьшим, с точки зрения некоторой политики, отставанием (диспропорцией развития) объектов.

Ввиду множественности объектов существует множество подходов к определению политики распределения ресурсов. Наиболее известными являются политика классического эгалитаризма (закключающегося в делении ресурсов «поровну») и классического утилитаризма (при котором дележ производится в пользу наиболее прибыльных направлений). Кроме этих политик, на практике используется равномерное распределение, политика «латания дыр», политика гарантированного минимума и т.д.

В условиях реального промышленного производства ни одна из классических политик не может использоваться в течение длительного времени. Требуется комбинирование этих политик. Одним из вариантов комбинированной политики является модель, включающая классический утилитаризм, пропорциональное распределение ресурсов и политику гарантированного минимума. Она может быть представлена в виде:

$$\alpha \left( u_i(t) - \frac{\frac{\bar{y}_i - y_i(t)}{S_i(t)}}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\bar{y}_i - y_i(t)}{S_i(t)} \right)} \right) + (1-\alpha) \left( \sum_{i=1}^n \left( \frac{\bar{y}_i - y_i(t)}{\bar{y}_i} \right) \right) \rightarrow \min; \quad 0 \leq \alpha \leq 1;$$

$$\sum_{i=1}^n u_i(t) \leq c(t) = \varphi(t) + \psi(t); \quad y_i(t) = y_i(t-1) + S_i(t)u_i(t) + d_i(t);$$

$$y_i(t) \geq y_i(t+1), \quad y_i(1) > 0; \quad \bar{y}_i \geq y_i(t); \quad S_i(t) \geq 0, \quad c(t) > 0, \quad u_i(t) \geq 0;$$

$$0 < P_i(t) = y_i(t+1) \leq \bar{y}_i; \quad P_i(t) \geq P_i(t-1); \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad t \in [1, T],$$

где  $t \in [1, T]$  – периоды принятия решения по распределению ресурсов;

$c(t) = \varphi(t) + \psi(t)$  – определенное количество ресурсов, причем

$\varphi(t)$  – ресурсы, подлежащие распределению в данный момент времени  $t$ ,

$\psi(t)$  – ресурсы, направляемые в резерв в виде накопительного или резервного фонда предприятия для использования в некоторый момент времени  $\tau \in [t+1, T]$ ;

$i = 1, 2, \dots, n$  – направления распределения ресурсов, причем развитие каждого из направлений не зависит от развития других направлений;

$n$  – количество возможных направлений вложения и использования имеющихся ресурсов;

$u_i(t)$  – количество ресурсов, вкладываемых в  $i$ -е направление в момент времени  $t$ ;

$y_i(t)$  – уровень развития  $i$ -го направления в момент времени  $t$ ;

$\bar{y}_i$  – эталонного состояние  $i$ -го направления в момент времени  $T$ ;

$S_i(t)$  – эффективность вложения средств в  $i$ -е направление в момент времени  $t$ , т.е. прирост на единицу вкладываемых ресурсов;

$d_i(t)$  – внешний фактор, который чаще всего принимает отрицательное значение.

В реальных условиях принятие решения по распределению ресурсов существенно усложняется тем, что многие из параметров данной модели заранее точно не известны. Таким образом, представленная модель на практике является стохастической [1, 2, 3].

Пусть  $a_{ij}$  – элементы матрицы  $A$  – матрицы условий задачи, а величины  $S_i$ ,  $d_i$ ,  $c_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) являются случайными на множестве  $\Omega$  реализации случайного параметра  $\omega$ . Введя обозначения  $y_i(t+1) - y_i(t) = b_i(t)$ , и  $S_i(t, \omega)u_i(t) + d_i(t, \omega) = h_i(t, \omega)$ , получим следующую математическую модель задачи принятия решений

$$M \left\{ \alpha \left( u_i(t) - \frac{\frac{\bar{y}_i - y_i(t)}{S_i(t)}}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\bar{y}_i - y_i(t)}{S_i(t)} \right)} \right) + (1-\alpha) \left( \sum_{i=1}^n \left( \frac{\bar{y}_i - y_i(t)}{\bar{y}_i} \right) \right) \right\} \rightarrow \min; \quad 0 \leq \alpha \leq 1; \quad (1)$$

$$P_1 \left\{ \sum_{j=1}^n a_{ij} u_j(t) \leq c_i(t, \omega) \right\} \geq \alpha_1, \quad 0,5 < \alpha_1 < 1; \quad (2)$$

$$P_2 \{ b_i(t) = h_i(t, \omega) \} \geq \alpha_2, \quad 0,5 < \alpha_2 < 1; \quad (3)$$

$$y_i(1) > 0, \quad y_i(t) \geq y_i(t-1), \quad S_i(t) \geq 0, \quad u_i(t) \geq 0; \quad \bar{y}_i \geq y_i(t); \quad (4)$$

$$i = \overline{1, n}; \omega \in \Omega; t \in [1, T]; \quad (5)$$

$$0 < P_i(t) = y_i(t+1) \leq \bar{y}_i; P_i(t) \geq P_i(t-1). \quad (6)$$

Модели принятия решений в условиях неполноты информации могут быть одноэтапными и многоэтапными. В одноэтапных моделях решение принимается один раз и в дальнейшем не корректируется. В многоэтапных моделях принятое решение может неоднократно подвергаться изменению.

Основными причинами необходимости корректировки принятого решения [1], приводящими к желательности рассмотрения многоэтапных моделей стохастического программирования, являются следующие:

1. В процессе управления часто не представляется возможным производить одновременное наблюдение фактических значений всех случайных параметров, фигурирующих в целевой функции и ограничениях задачи.
2. С информационной точки зрения окончательную корректировку решения предпочтительнее осуществлять как можно позже, когда все значения фактических параметров модели уже известны.
3. Иногда для удовлетворительного функционирования моделируемого процесса (или объекта) необходимо осуществлять некоторые управляющие воздействия, строго регламентированные по времени проведения.
4. Поздняя корректировка существенно снижает эффективность ее реализации.
5. Уменьшение времени, затрачиваемого на корректировку, обычно приводит к повышению степени риска или необходимости дополнительных затрат.

Однако необходимость корректировки не является следствием недостатков в системе планирования. Корректировка принятого плана фактически неизбежна при планировании в условиях неопределенности.

Если решение задачи принятия решений в условиях неопределенности принимается до наблюдения случайных параметров условий, то используемые решающие правила или решающие распределения будем называть априорными. Если решение задачи принятия решений в условиях неопределенности принимается после наблюдения случайных параметров условий, то используемые решающие правила или решающие распределения будем называть апостериорными.

Пусть на практике реализуется цепочка «решение» - «наблюдение» - «решение» - «наблюдение» - «решение» - ... В таком случае производится корректировка по априорному методу. Модель принятия решений примет вид:

$$M_{\omega} \left\{ \alpha u_i(t, \omega) - \frac{\bar{y}_i - y_i(t, \omega)}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\bar{y}_i - y_i(t, \omega)}{S_i(t, \omega)} \right)} + (1 - \alpha) \left( \sum_{i=1}^n \frac{\bar{y}_i - y_i(t, \omega)}{\bar{y}_i} \right) \right\} \rightarrow \min; \quad 0 \leq \alpha \leq 1; \quad (7)$$

$$M_{\omega_k} \{ \psi_k(\omega^k, u_i^k(t)) | \omega^{k-1} \} \leq c_k(t, \omega^{k-1}); \quad (8)$$

$$y_i(t+1, \omega^{k-1}) - y_i(t, \omega^{k-1}) = S_i(t, \omega^{k-1}) u_i(t, \omega^{k-1}) + d_i(t, \omega^{k-1}); \quad (9)$$

$$y_i(t+1, \omega^{k-1}) \geq P_i(t, \omega^{k-1}), \quad (10)$$

$$y_i(t+1, \omega^{k-1}) \geq y_i(t, \omega^{k-1}), y_i(1, \omega^{k-1}) > 0; \quad (11)$$

$$S_i(t, \omega^{k-1}) \geq 0, u_i(t, \omega^{k-1}) \geq 0, c_k(t, \omega^{k-1}) > 0, \quad (12)$$

$$u_{ik} \in G_k^0; \quad \omega^k \in \Omega^k = \times_{i=1}^k \Omega_i; \quad i, k = \overline{1, n}; \quad t \in [1, T] \quad (13)$$

Решение по распределению ресурсов на  $i$ -м этапе принимается после реализации случайных параметров условий на предыдущем  $i-1$ -м этапе. Таким образом, решающие правила примут вид:

$$u_i(t) = u_i(t, \omega^{i-1}), \quad i = \overline{1, n}.$$

Задача (7)–(13) является многоэтапной задачей стохастического программирования с условными вероятностными ограничениями и с априорными решающими правилами.

Сформулируем задачу  $k$ -го этапа.

Рассмотрим множество, отвечающее области определения задачи  $k$ -го этапа задачи (7)–(13) при фиксированных  $\omega^{k-1}$  и  $u^{k-1}$ .

$$K_i = \{y_i \in G_i^0 \mid \exists [u_{i,i+1} \in G_{i+1}^0, u_{i,i+2} \in G_{i+2}^0, \dots, u_{i,n} \in G_n^0],$$

$$M_{\omega_i} [\psi_i(\omega^i, u_i^i(t)) \mid \omega^{i+1}] \leq c_i(t, \omega^{i-1}),$$

$$M_{\omega_{i+1}} [\psi_i(\omega^{i+s}, y^i, u_{i,i+1}(t), \dots, u_{i,i+s}(t)) \mid \omega^{i+s-1}] \leq c_{i+1}(t, \omega^{i+s-1}), \quad (14)$$

$$\forall \omega_{i+s-1}, \dots, \omega_{n-1}, s = \overline{1, n-i}\}$$

$$y_i^i(t, \omega^{i-1}) = y_i^i(t-1, \omega^{i-1}) + S_i^i(t, \omega^{i-1}) \cdot u_i^i(t) + d_i^i(t, \omega^{i-1}) \quad (15)$$

$$y_i(t, \omega^{k-1}) \geq y_i(t-1, \omega^{k-1}), y_i(1, \omega^{k-1}) > 0; \quad (16)$$

$$y_i(t+1, \omega^{k-1}) \geq P_i(t, \omega^{k-1}), \quad (17)$$

$$S_i(t, \omega^{k-1}) \geq 0, u_i(t, \omega^{k-1}) \geq 0, c_{i+s}(t, \omega^{i+s-1}) > 0, \quad (18)$$

$$u_{ik} \in G_k^0; \quad \omega^k \in \Omega^k = \times_{i=1}^k \Omega_i; \quad i, k = \overline{1, n}; \quad t \in [1, T] \quad (19)$$

Апробация предлагаемых моделей производилась при принятии решений по распределению ресурсов на Малеевском руднике Зырянского горно-обогатительного комплекса АО «Казцинк». При среднесрочном планировании ресурсы распределялись с таким учетом, чтобы производственные участки (подготовительных, очистных и закладочных работ) получали финансирование по утилитарной методике распределения на покупку дорогостоящего оборудования в расчете на будущую прибыль. Оставшиеся участки и отделы финансировались согласно политике гарантированного минимума (заработная плата, необходимые средства для поддержания основных производств). Но часть средств все-таки выделялась и на развитие вспомогательных подразделений пропорционально отставанию от эталона. Результаты применения этой методики видны на графике (рис. 2).

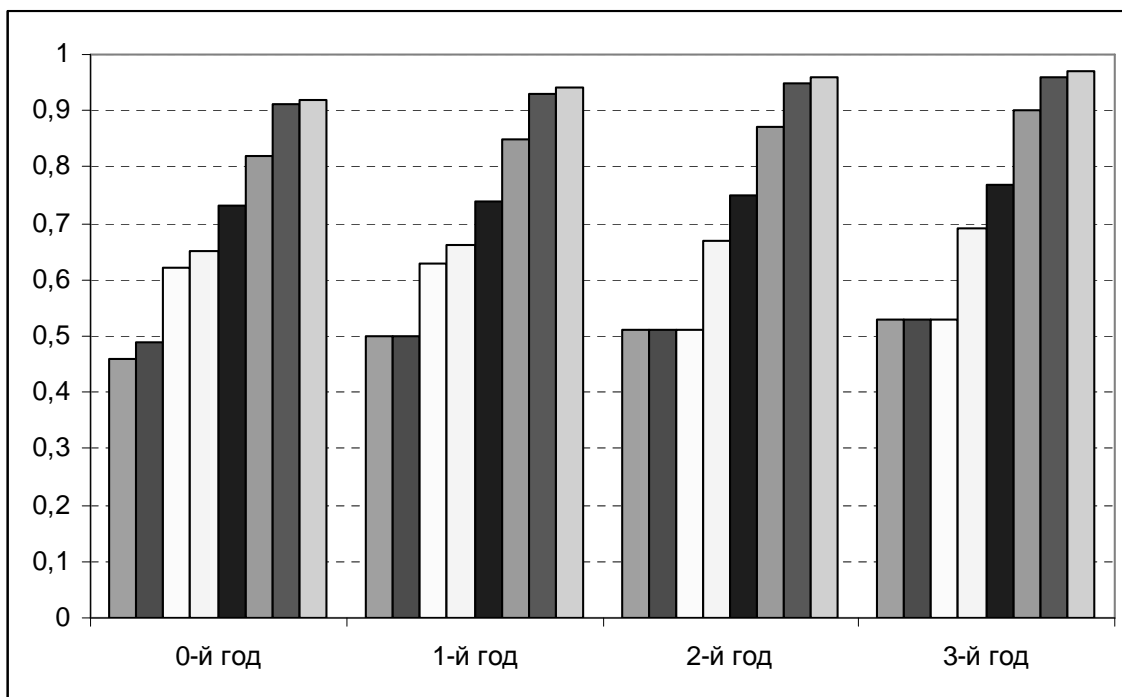


Рисунок 2 – Динамика развития участков и производств

Первые пять столбцов относятся к уровню развития вспомогательных участков и производств, три последние представляют собой уровень развития основных участков. Как видно из приведенного графика состояние развития вспомогательных производств существенно отстает от основных производств, но со временем отставание уменьшается.

## Список литературы

1. Юдин Д.Б. Математические методы управления в условиях неполной информации. – М.: Советское радио, 1974. – 400 с.
2. Колбин В. В. Принятие решений в условиях неполной информации. – СПб: НИИХ СПбГУ, 2002. – 81 с.
3. Юдин Д.Б. Качественное исследование некоторых классов стохастических задач / Д.Б.Юдин, Э.В. Цой // Кибернетика, 1975. – №2. – С.73-77.

Получено 28.05.09

УДК 621.9

**Г.М. Мутанов, С.В. Галкин, В.В. Запасный, А.И. Квасов**  
ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НОРМАТИВНОГО МЕТОДА  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ**

За последние годы были достигнуты значительные успехи в области производства теплоизоляционных материалов, а также по индустриализации теплоизоляционных работ. Теплотехнические характеристики теплоизоляционных материалов постоянно улучшаются, а стоимость капитальных затрат на обустройство теплоизоляции снижается относительно стоимости тепловой энергии. Однако проектно-нормативная документация по проектированию тепловой изоляции не соответствует современному уровню развития теплотехники, так как методологический подход содержит значительные обобщения, принципиальная основа которых разработана в 50-х годах прошлого века [1].

Действующим нормативным документом по проектированию теплоизоляции в Республике Казахстан является МСН 4.02-03-2004 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов» [2]. Проектирование энергосберегающей тепловой изоляции по данному нормативному документу основано на ограничении тепловых потерь. В МСН 4.02-03-2004 указаны нормированные значения плотности теплового потока через изолированную поверхность в зависимости от геометрических и эксплуатационных условий. Исходя из указанных значений, рассчитывается необходимая толщина теплоизоляционного слоя.

Анализ нормативного документа МСН 4.02-03-2004 позволил выявить следующие недостатки:

- в МСН 4.02-03-2004 отсутствует сама методика расчёта толщины теплоизоляционного слоя и не представлены ссылки на какие-либо другие документы, регламентирующие алгоритм расчёта;
- для теплотрасс, проложенных под землёй в непроходных каналах и бесканально, не представляется возможным отдельно рассчитать тепловую изоляцию для подающего и обратного трубопровода, так как нормы плотности теплового потока представлены суммарно по длине теплотрассы;
- значения коэффициента, учитывающего изменение стоимости теплоты в зависимости от района строительства, представлены только для регионов России.

До 2005 года проектирование тепловой изоляции в Казахстане производилось по СНиП 2.04.14-88\* «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов» [3], в котором отсутствовали вышеуказанные недостатки. Однако этот документ содержал нормативные данные, которые приводили к ошибочным результатам расчётов. С принятием МСН 4.02-03-2004 этот СНиП утратил статус нормативного документа.

В сложившихся условиях при проектировании тепловой изоляции приходится использовать алгоритмы расчётов, представленных в СП 41-103-2000 «Свод правил по проектированию и строительству. Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов» (одобрен для применения в странах СНГ протоколом № 16 от 02.12.1999 года Межгосударственной научно-технической комиссии по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве) [4].

Для осуществления технико-экономической оценки действующей нормативной мето-

дики проектирования тепловой изоляции произведем расчёты тепловых потерь и экономической эффективности тепловой изоляции в виде чистого приведенного эффекта инвестиций (NPV) при различной толщине тепловой изоляции на конкретных примерах для плоских и цилиндрических объектов.

Тепловые потери для плоских и цилиндрических объектов диаметром 2 м и более определяются по формуле

$$Q = \frac{F \cdot (t_g - t_n)}{R_{вн} + R_{ст} + \sum_{i=1}^n R_i + R_n}, \quad (1)$$

где  $Q$  – тепловые потери изолируемого объекта, Вт;

$F$  – площадь поверхности объекта, м<sup>2</sup>;

$t_g$  – температура среды внутри изолируемого оборудования, °С;

$t_n$  – температура окружающей среды, °С;

$R_{вн}$  – термическое сопротивление теплоотдаче на внутренней поверхности стенки изолируемого объекта, м<sup>2</sup>·°С/Вт;

$R_n$  – то же, на наружной поверхности теплоизоляции, м<sup>2</sup>·°С/Вт;

$R_{ст}$  – термическое сопротивление кондуктивному переносу теплоты стенки изолируемого объекта, м<sup>2</sup>·°С/Вт;

$\sum_{i=1}^n R_i$  – полное термическое сопротивление кондуктивному переносу теплоты  $n$ -слойной плоской изоляции, м<sup>2</sup>·°С/Вт.

Произведём технико-экономический расчёт для бака-аккумулятора горячей воды. Для теплотехнического расчёта принимаем следующие исходные данные: стенки бака – плоские металлические; площадь изолируемой поверхности бака 10 м<sup>2</sup>;  $t_g = 70$  °С;  $t_n = 16$  °С; количество часов работы в год  $n = 8400$  ч/год; теплоизоляционный материал – пенополиуретан с  $\lambda = 0,032$  Вт/(м·°С); наружный защитный слой окрашен алюминиевой краской; место расположения – в помещении.

Используя нормированные значения плотности теплового потока по МСН 4.02-03-2004 и алгоритм расчёта СП 41-103-2000, была определена требуемая толщина теплоизоляционного слоя 55 мм.

Для экономического обоснования проектного решения определим NPV при различной толщине теплоизоляционного слоя. При этом необходимо использовать дополнительные исходные данные: срок службы тепловой изоляции  $N = 10$  лет; нагрев воды осуществляется электронагревателями; стоимость электроэнергии 5,57 тг/(кВт·ч), что соответствует  $C = 1,547 \cdot 10^{-6}$  тенге/Дж; капитальные затраты на устройство тепловой изоляции из 1 м<sup>3</sup> теплоизоляционного материала  $3K_v = 52000$  тенге/м<sup>3</sup>; уровень инфляции 10 %; коэффициент дисконтирования 0,16.

Используя теорию теплообмена [4], нетрудно установить динамику изменения тепловых потерь от изолируемого объекта при различной толщине теплоизоляционного слоя. На основе этих данных при известной стоимости энергии, которую удалось сохранить, и капитальных затратах на устройство тепловой изоляции можно установить NPV [5]. Значение NPV определяется по формуле

$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{(1+r)^i} - IC, \quad (2)$$

где  $NPV$  – чистый приведенный эффект инвестиций, тенге;

$P$  – доход от инвестиций, полученный в году  $i$ , тенге;

$i$  – год получения дохода;

$n$  – количество лет получения дохода;

$r$  – коэффициент дисконтирования;

$IC$  – объём инвестиций, тенге.

Результаты данных расчетов представлены в табл. 1 и в графическом виде на рис. 1. При выполнении расчётов толщина теплоизоляционного слоя изменялась от 0 до 0,180 м.

Из данных табл. 1 и рис. 1 видно, что толщина тепловой изоляции 55 мм, установленная по нормативным документам, не является оптимальной, так как максимальное значение  $NPV$  достигается при толщине 100 мм. Конечно, увеличение значения  $NPV$  при переходе от 55 мм к 100 мм небольшое (1,5 %), однако, при этом значительно снижаются тепловые потери (на 43 %).

Аналогичным образом произведём технико-экономические расчёты для цилиндрической поверхности. Тепловые потери для цилиндрических объектов диаметром менее 2 м определяются с помощью формулы

$$q_L = \frac{t_e - t_n}{R_{en}^L + R_{cm}^L + \sum_{i=1}^n R_i^L + R_n^L}, \quad (3)$$

где  $q_L$  – линейная плотность теплового потока через цилиндрическую теплоизоляционную конструкцию, Вт/м;

$R_{en}^L$  – линейное термическое сопротивление теплоотдаче на внутренней поверхности стенки изолируемого объекта, м<sup>°C</sup>/Вт;

$R_n^L$  – то же, на наружной поверхности теплоизоляции, м<sup>°C</sup>/Вт;

$R_{cm}^L$  – линейное термическое сопротивление кондуктивному переносу теплоты стенки изолируемого объекта, м<sup>°C</sup>/Вт;

$\sum_{i=1}^n R_i^L$  – полное линейное термическое сопротивление кондуктивному переносу теплоты  $n$ -слойной плоской изоляции, м<sup>°C</sup>/Вт.

Таблица 1

Результаты расчётов тепловой изоляции бака-аккумулятора

Толщина теплоизоляционного слоя, мм	Тепловые потери изолируемого объекта, Вт	NPV, тыс. тенге
0	3780,0	0,00
10	1185,9	828,32
20	703,3	978,19
30	499,8	1038,35
40	387,7	1069,18
45	348,6	1079,15
50	316,6	1086,81
55	290,1	1092,75
60	267,6	1097,36
63	255,7	1099,62

Окончание табл. 1

Толщина теплоизоляционного слоя, мм	Тепловые потери изолируемого объекта, Вт	NPV, тыс. тенге
70	231,7	1103,70
75	217,2	1105,77
80	204,3	1107,30
85	192,9	1108,36
90	182,7	1109,04
95	173,5	1109,39
100	165,2	1109,46
105	157,7	1109,28
110	150,8	1108,89
120	138,7	1107,58
130	128,4	1105,69
140	119,5	1103,35
150	111,8	1100,63
160	105,0	1097,61
170	99,0	1094,35
180	93,6	1090,87

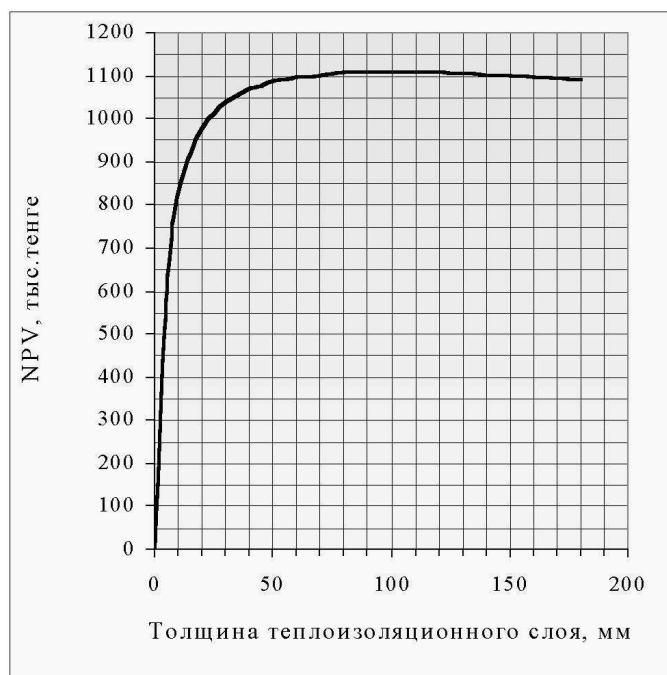


Рисунок 1 – Зависимость чистого приведенного эффекта инвестиций от толщины теплоизоляционного слоя бака

Произведём технико-экономический расчёт для трубопроводов теплосетей, проложенных в непроходных каналах. Для теплотехнического расчёта принимаем следующие исходные данные: диаметр трубопроводов  $d=530$  мм; для подающих трубопроводов  $t_g=90^\circ\text{C}$ ; для обратных трубопроводов  $t_o=50^\circ\text{C}$ ;  $t_n=9^\circ\text{C}$ ;  $n=8400$  часов; тепловая изоляция из пенополиуретана  $\lambda=0,032$  Вт/(м·°C).

Используя нормированные значения плотности теплового потока по МСН 4.02-03-2004 (96,2 Вт/м) и алгоритм расчёта СП 41-103-2000, была установлена требуемая толщина теплоизоляционного слоя для подающего и обратного трубопровода 51 мм.

Для экономического обоснования проектного решения определим чистый приведенный эффект инвестиций при различной толщине теплоизоляционного слоя. При этом используются дополнительные исходные данные: срок службы тепловой изоляции  $N=25$  лет; стоимость теплоэнергии  $C=410,5 \cdot 10^{-9}$  тенге/Дж; капитальные затраты на устройство тепловой изоляции из 1 м<sup>3</sup> теплоизоляционного материала  $3K_v=52000$  тенге/м<sup>3</sup>; высота непроходного канала 1,105 м; ширина непроходного канала 2,41 м; грунт – суглинок с коэффициентом теплопроводности 1,75 Вт/(м·°C); глубина заложения до оси трубопровода 2 м; уровень инфляции 10 %; коэффициент дисконтирования, применяемый для тепловых сетей, равен 0,12.

Аналогично предыдущему примеру производятся технико-экономические расчёты для теплотрассы. Результаты данных расчётов для теплотрассы длиной в 1 км с диаметром труб 530 мм, проложенных в непроходном канале, представлены в таблице 2 и в графическом виде на рис. 2.

Таблица 2

*Результаты расчётов тепловой изоляции для теплотрассы длиной в 1 км  
с диаметром труб 530 мм, проложенных в непроходном канале*

Толщина теплоизоляционного слоя		Тепловые потери		NPV, тыс. тенге
подающего трубопровода, мм	обратного трубопровода, мм	подающего трубопровода, кВт	обратного трубопровода, кВт	
0	0	416,85	-115,97	0
5	3	242,52	3,15	11722
10	6	179,47	32,10	18677
15	9	145,35	41,51	23512
20	12	123,42	44,38	27059
25	16	107,92	44,66	29734
30	19	96,29	43,81	31780
35	22	87,19	42,48	33352
40	25	79,85	40,97	34559
45	28	73,79	39,41	35476
50	31	68,70	37,89	36158
55	34	64,34	36,43	36646
60	37	60,58	35,04	36973
65	40	57,29	33,75	37163
70	43	54,39	32,53	37235

Окончание табл. 2

Толщина теплоизоляционного слоя		Тепловые потери		NPV, тыс. тенге
подающего трубопровода, мм	обратного трубопровода, мм	подающего трубопровода, кВт	обратного трубопровода, кВт	
75	47	51,81	31,40	37205
80	50	49,50	30,34	37086
85	53	47,43	29,35	36889
90	56	45,54	28,43	36622
95	59	43,83	27,56	36292
100	62	42,26	26,75	35905
105	65	40,82	25,99	35467
110	68	39,50	25,28	34982
120	74	37,14	23,97	33885

При выполнении расчётов, результаты которых представлены в табл. 2, толщина теплоизоляционного слоя подающего трубопровода изменялась от 0 до 0,12 м. При этом толщина теплоизоляционного слоя обратного трубопровода была принята 62 % от толщины теплоизоляционного слоя подающего трубопровода. Это соотношение в данной задаче является наиболее оптимальным, что было выявлено на основе многовариантного перебора значений от 0 до 100 %.

Необходимо отметить, что подающий и обратный трубопроводы, находясь в замкнутом пространстве канала, оказывают взаимное влияние на тепловые потери друг друга. Снижение тепловых потерь одного из них за счёт тепловой изоляции приводит к увеличению тепловых потерь другого.

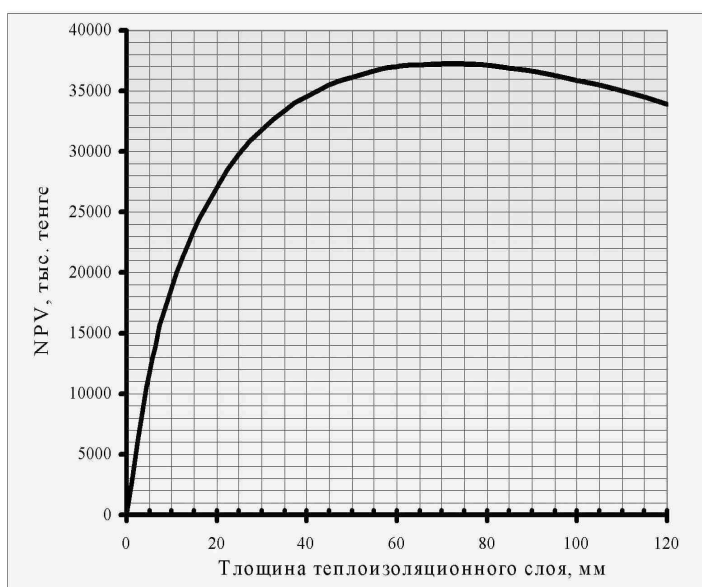


Рисунок 2 – Зависимость чистого приведенного эффекта инвестиций от толщины теплоизоляционного слоя трубопроводов 1 км теплотрассы

Анализ данных табл. 2 свидетельствует о том, что оптимальное значение толщины теплоизоляционного слоя в рассматриваемом примере составляет: для подающего трубопровода 70 мм, для обратного трубопровода 43 мм. При этом NPV на тепловую изоляцию 1 км теплотрассы составляет 37235 тыс. тенге, а тепловые потери теплотрассы составляют 86,9 Вт/м.

Как ранее было установлено, требуемая толщина теплоизоляционного слоя по нормативным документам на подающем и обратном трубопроводах составляет 51 мм, обеспечивая величину тепловых потерь 96,2 Вт/м. При данном значении NPV на тепловую изоляцию 1 км теплотрассы составляет 36402 тыс. тенге. В сравнении с оптимальными значениями толщины тепловой изоляции нормативные значения характеризуются пониженной величиной NPV (на 2,3 %) и повышенными тепловыми потерями (на 10,7 %).

Таким образом, на рассмотренных примерах объективно доказано, что нормативная методика расчёта тепловой изоляции не обеспечивает нахождения оптимальных параметров теплоизоляционного слоя.

Методика расчёта по МСН 4.02-03-2004 и СП 41-103-2000 объективно не учитывает такие важнейшие факторы, как стоимость выработки единицы тепла (холода), капитальные затраты на устройство тепловой изоляции, срок функционирования тепловой изоляции. Тем самым, игнорируется специфика проектируемого объекта и не учитываются особенности его функционирования в условиях рыночной экономики.

Современные рыночные отношения требуют индивидуального подхода к технологическим задачам, что позволяет выявить наиболее рациональный путь их решения. Это обуславливает необходимость разработки новой методики проектирования тепловой изоляции оборудования и трубопроводов, которая позволит определить оптимальные параметры теплоизоляционного слоя и свести к минимуму экономические затраты, связанные с неизбежными потерями тепла (холода) при использовании нагретых (охлаждённых) сред в технологических процессах. Новая методика проектирования должна предусматривать нахождение универсального критерия целесообразности тепловой изоляции, который позволит не только определить оптимальную толщину данного теплоизоляционного материала, но и произвести обоснованный выбор материала из имеющегося ассортимента.

#### Список литературы

1. Нормы проектирования тепловой изоляции для трубопроводов и оборудования электростанций и тепловых сетей. – М.: Госстройиздат, 1959.
2. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. МСН 4.02-03-2004. Дата введения 01.11.2005 г.
3. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. СНиП 2.04.14-88\* – М.: Государственный строительный комитет СССР, 1989.
4. Свод правил по проектированию и строительству. Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов. СП 41-103-2000. – М.: ГОССТРОЙ России, 2001.
6. Экономика строительства: Учебник для вузов / Под ред. д. э. н., проф. И.С. Степанова. – М.: Юрайт, 2000.

Получено 28.05.09