Санкт-Петербургский государственный университет

**Кафедра моделирования экономических систем**

**Лавриненко Анжелика Олеговна**

**Магистерская диссертация**

**Модель оценки эффективности инвестиций в электросети**

Направление 01.04.02

Прикладная математика и информатика

Магистерская программа «Математическое и информационное обеспечение экономической деятельности»

Научный руководитель,  
доктор физ.-мат. наук,  
профессор  
Прасолов А.В.

Санкт-Петербург

2018

**Содержание**

[Введение 3](#_Toc514885220)

[Постановка задачи 6](#_Toc514885221)

[Обзор литературы 8](#_Toc514885222)

[Глава 1. Выбор критериев оценки исследуемого объекта 12](#_Toc514885223)

[1.1. Доходы/расходы, связанные с осуществлением мероприятий 13](#_Toc514885224)

[1.2. Доходы/расходы, связанные с потреблением электроэнергии 20](#_Toc514885225)

[1.3. Доходы/расходы, связанные с перспективным развитием внешней среды 21](#_Toc514885226)

[1.4. Значения критериев в рассматриваемой задаче 24](#_Toc514885227)

[Глава 2. Свертка критериев 32](#_Toc514885228)

[Глава 3. Выбор весовых коэффициентов 34](#_Toc514885229)

[3.1. Общие сведения 34](#_Toc514885230)

[3.2. Определение уровней иерархии 35](#_Toc514885231)

[3.3. Определение весовых коэффициентов 36](#_Toc514885232)

[Заключение 39](#_Toc514885233)

[Список цитируемой литературы 41](#_Toc514885234)

[Приложение 1 44](#_Toc514885235)

# Введение

Энергоемкость Валового Внутреннего Продукта (Далее – ВВП) была и остается характерной для экономики России. Согласно положениям Энергетической стратегии России, на период до 2030 года [1] планируется снижение доли Топливно-энергетического комплекса (Далее – ТЭК) в ВВП и доли топливно-энергетических ресурсов в экспорте страны в 1,7 раз, сокращение экспорта энергоресурсов в 3 раза, снижение объёма капиталовложений в ТЭК в 1,4 раза. Политика в области цен и тарифов на электроэнергию направлена на сдерживание роста тарифов, при этом на знаковых для энергетической отрасли мероприятиях, таких как ежегодная Российская Энергетическая Неделя (Далее – РЭН), Российский Международный Энергетический Форум (Далее – РМЭФ), говорилось о том, что в ближайшем будущем ожидается рост потребления энергии на 25-30%. Основную ставку в энергетике будущего предлагается делать на атомную энергию и возобновляемые источники энергии (Далее – ВИЭ), которые требуют значительных инвестиций. Переориентация с традиционных источников энергии может значительно повлиять на структуру рынка электроэнергии в целом.

В настоящее время технологическая схема реализации электроэнергии в России состоит из следующих звений: Крупные генерирующие компании (Далее – ГК) - Федеральная сетевая компания (330-750 кВ) (Далее – ФСК) – Межрегиональная распределительная сетевая компания (220-0,4 кВ) (Далее – МРСК) – Территориальные сетевые компании (110-0,4 кВ) (Далее – ТСО) – Сбытовые компании - Потребители электроэнергии. Изменение данной схемы может оказать значительное влияние на структуру рынка электроэнергии в России, в первую очередь при росте создания замкнутых энергетических систем (Например, установка солнечных батарей на частных владениях или вблизи фермерских хозяйств) исчезает, или становится минимальной, потребность в строительстве распределительных сетей, потребление и генерация электроэнергии оказываются в непосредственной близости. Это влечет за собой сокращение капитальных вложений в строительство сетей (потребность остается только у крупных потребителей), а следовательно – сокращений капитальных вложений в данную отрасль и как следствие сокращение или не увеличение тарифов на передачу электроэнергии, что может негативно сказаться на финансовых результатах деятельности сетевых компаний. Такие сценарные условия в ближайшие годы повлекут за собой рост конкуренции на данном рынке, что вынудит предприятия энергетики повышать уровень автоматизации и переходить на более наукоемкое производство.

Работа несет прикладной характер и отвечает нуждам конкретного субъекта электроэнергетики – АО «ЛОЭСК» («Ленинградская областная электросетевая компания»). Несмотря на это разработанная модель актуальна для всех сетевых компаний с аналогичной производственной структурой, т.к. положения по взаимодействию сетевых компаний и заявителей жестко регламентированы Федеральным законодательством, а технологические решения являются типовыми.

Модель оценки эффективности инвестиций была разработана с учетом текущего уровня автоматизации управленческого учета в компании, а также с учетом находящихся в разработке проектов по автоматизации. Управленческий и бухгалтерский учет введутся на базе «1С: Предприятие», в настоящее время проводится разработка подсистем, позволяющих вести диспетчерский учет в «1С», а также перенос топологии сетей из более старой системы учета «E-net» в «1С» и её интеграция с управленческим и бухгалтерским учетом. После завершения описанных выше работ, появится возможность внедрения основных положений модели оценки эффективности инвестиций для ускорения составления Технический условий для заявителей, что позволит:

1. Сократить срок составления технических условий (Далее – ТУ) (в данный момент составляются вручную сотрудником компании в силу отсутствия полной системной информации, необходимой для принятия решения);
2. Повысить качество ТУ (часто встречаются случаи пересмотра ТУ);
3. Повысить информативность ТУ (отсутствие понимания количественных показателей объёмов работ необходимых для произведения технологического присоединения).

Для достижения заявленных результатов необходимо решить многокритериальную задачу оптимизации, которая будет подробно описана далее, рассмотреть возможность применения линейной свертки критериев.

Работа состоит из 3 Глав, в первой главе подробно рассматриваются критерии, которые были выбраны для оценки эффективности инвестиций, описывается нормативно-правовое поле, в котором действуют субъекты естественных монополий и то, как это влияет на результат их финансово-хозяйственной деятельности, во второй главе речь идёт о выборе синтезирующей функции, в третей главе о назначении весовых коэффициентов, а также о некоторых полученных результатах.

# Постановка задачи

Пусть - конечное число стратегий (наборов мероприятий для осуществления технологического присоединения с учетом уровней качества и надежности электроснабжения на территории определенного муниципального образования). Каждая такая стратегия оценивается по критериям:

Таблица 1. Общий вид модели.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *Характеристики* |  |  | *…* |  |
| *Стратегии* |
|  |  |  | *…* |  |
|  |  |  | *…* |  |
| *…* | *…* | *…* | *…* |  |
|  |  |  | *…* |  |

Все критерии в рамках решаемой задачи можно разделить на следующие группы: Доходы/расходы, связанные с осуществлением мероприятий, потреблением электроэнергии, развитием внешней среды.

Необходимо выбрать наилучший набор мероприятий для осуществления технологического присоединения, обозначим его . Если предположить, что вес каждого критерия одинаков для менеджера СО и положить, что нет разницы межу Доходами и расходами, связанными с осуществлением мероприятий, с потреблением электроэнергии или перспективным развитием внешней среды, то задача сводится к отысканию множества Парето-оптимальных решений и выбору любого их них, доставляющего

Но в жизни ситуация выглядит иначе, вес Доходов и Расходов связанных с осуществлением мероприятий всегда значительно выше, но и не учитывать выгоды, которые могут быть получены в перспективе - нельзя.

Для решения данной многокритериальной задачи встаёт вопрос о назначении нормированных неотрицательных коэффициентов , и последующей максимизации линейной свертки критериев на множестве Х в зависимости от предпочтения лица принимающего решение (Далее – ЛПР). О возможных способах назначения данных критериев и пойдёт речь в данной работе, а также о выборе наиболее подходящего метода для решения конкретной прикладной задачи.

# Обзор литературы

Интерес к оценке эффективности капитальных вложений в сферу электроэнергетики не может быть полностью удовлетворен только положениями Эконом теории. Современные авторы не редко во главу угла при оценке эффективности таких капитальных вложений ставят именно технические показатели, тем более, что в современных условиях не представляется возможной оценка чисто экономической выгоды для инвестиций субъектов естественных монополий. К тому же, на практике, часто встречаются ситуации, когда при подсчете рентабельности инвестиций, срока окупаемости и иных классических показателей, используемых при оценке инвестиционных проектов, в случае объектов электросетевого хозяйства, данные показатели принимают отрицательные значения, но отказаться от реализации таких проектов у СО нет права, т.к. это зачастую противоречит федеральному законодательству [2]. Так, например, в [3] при оценке эффективности проведения реконструкции на электросетях авторы ставят во главу угла полезный отпуск ЭЭ, нормативные и сверхнормативные потери ЭЭ. Авторы показывают, что, несмотря на то, что прямые доходы, связанные с проведением реконструкции отсутствуют, за счет сокращения потерь ЭЭ и увеличения доли полезного отпуска ЭЭ, падают расходы СО на покрытие этих потерь. По данным авторов, за счет падения потерь ЭЭ, капитальные вложения на реконструкцию должны окупиться через 11 лет, что в общем то, для других сфер экономики не самый приемлемый результат (особенно в условиях Российского рынка), но в случае электроэнергетики, это говорит об эффективности инвестиций.

Становится очевидным, что к вопросу оценки эффективности инвестиций компаний, относящихся к субъектам естественных монополий, необходимо подходить комплексно. Так в работе [4] рассматривается возможность применение метода анализа иерархий (Далее – МАИ) для многокритериальной оценки инвестиционных проектов. Автор работы рассматривает применимость МАИ для получения одного сводного критерия для оценки инвестиционного проекта путем взвешивания классических показателей, таких как дисконтированный срок окупаемости инвестиций, чистая приведенная стоимость инвестиций, индекс рентабельности инвестиций, внутренняя норма доходности и т.д. В своей работе Калугин В.А. акцентирует внимание на том, что при сравнении инвестиционных проектов, редко находится такой проект, который бы превосходил другие проекты по некоторому числу критериев, а по остальным был бы не слабее. Часто остается несколько проектов, каждый из которых превосходит остальные хотя бы по одному из критериев.

Более широко данный вопрос рассмотрен в работах самого автора МАИ - Саати Т. [5], [6] и др. Американский математик уделял большое внимание тому, как нечисловые предпочтения ЛПР перевести в числовую информацию. В своих работах он обосновывает применение 9-ти бальной шкалы для определения предпочтений ЛПР для последующего формирования матрицы предпочтений и вычисления весовых коэффициентов на основании собственного вектора матрицы предпочтений.

Вопросы обоснованности применения линейной свертки критериев при многокритериальной оптимизации для решения прикладных задач рассматриваются в работах Ногина В.Д.. Так, например, в [7] говорится о том, что использование линейной свертки автоматически становится обоснованным при соблюдении аксиомы исключения доминируемых векторов и существовании весовых коэффициентов, отношения предпочтения при которых представляются линейной функцией. А в [8] рассматриваются случаи, в которых применение линейной сверки критериев неприменимо и может дать неадекватный результат. Также в работах этого автора [9],[10] дается определение относительной важности критериев и рассматривается возможность сужения области Парето для случаев четких и нечетких предпочтений ЛПР.

Ещё один способ сужения множества Парето, предложенный Ногиным В.Д. основывается на введения понятия *кварта информации.* Выделение кванта информации автор мотивирует тем, что в ситуации, когда объекты отличаются по минимальному числу критериев, выбор наилучшего обусловлен аксиомой согласования критериев с отношением предпочтения, но в ситуации, когда большое количество критериев или все отличны друг от друга, а ЛПР всё же отдает своё предпочтение какому-то конкретному объекту, встает о вопрос о правиле, которым руководствуется ЛПР при выборе конкретного решения. Этим правилом по сути и является квант информации. Квант информации говорит о том, каким количеством единиц по одному критерию ЛПР всегда готово пожертвовать ради определенного выигрыша по другому критерию. Также на основании кванта информации автором выводит коэффициент или степень компромисса ЛПР для конкретной пары критериев. О применимости или неприменимости данного метода для оценки эффективности инвестиций в электросети будет говорится в данной работе далее.

Еще один способ выбора наилучшего решения предлагается в работах Н.В. Хованова [11],[12]. Автор предлагает модернизировать Метод сводных показателей (Далее – МСП) А.Н. Крылова и описывает полученную методику как Метод радномизированных сводных показателей (Далее – МРСП).

Основные положения МРСП схожи с положения МСП, но особенностью метода является моделирования неопределенности при определении синтезирующей функции и весовых коэффициентов, связанных с тем, что формирование оценки объекта зачастую происходит в условиях дефицита информации и имеющиеся сведения часто являются неполной, неточной и нечисловой информацией. В части моделирования неопределённости выбора функции автор обращается к работам Т. Бейса и идеям Э. Бореля.

Рандомизация критериев, синтезирующей функции и весовых коэффициентов приводит и к рандомизации сводного показателя, т.е. в результате метода, на выходе получается некая случайная величина. В итоге, для сравнения, например, качества нескольких объектов, задача сводится к оцениванию «*стохастического доминирования среди случайных величин*» [11]. Например, в [12] авторами приводится пример использования МРСП для классификации страховых договоров по степени риска на основании неполной, неточной, нечисловой информации.

В работе Глотова В.А. и Павельев В.В. [13] дается попытка систематизировать сведения о способах измерения информации при экспертных методах определения весовых коэффициентов, классифицируются виды информации, методы оценки весовых коэффициентов и дается оценка существующим на момент написания работы способам принятия решения. Несмотря на то, что работа относится к XX столетию, положения, описанные в ней, во многом актуальны до сих пор, некоторые отсылке к ней ещё будут встречаться в работе.

# Глава 1. Выбор критериев оценки исследуемого объекта

В данной работе под стратегиями рассматриваются наборы мероприятий, осуществление которых на территории конкретного муниципального образования 1 уровня[[[1]](#footnote-1)] (Далее – МО-1) Ленинградской области, требуется для присоединения 123 заявителей с учетом заявленной присоединяемой мощности – 5,2 МВт, места нахождения точки присоединения, существующей мощности заявителя (при её наличии), существующих резервов мощности на территории, требованиям к показателям надежности и качества оказываемых услуг субъектами естественных монополий, а также с учетом категории заявителей.

Так для заявителей 3 категории надежности достаточно одного источника питания, без резервирования мощности на случай аварии в сети (например, дачные участки, гаражи и т.д.), для заявителей со второй категорией надежности необходимо существование резервного источника питания с возможностью оперативного перевода мощности на него в случае аварии (к таким заявителям относятся все застройщики многоквартирных жилых домов), в случае с 1 категорией надежности так же есть требование к автоматическому переключению на резервный источник в случае аварии на первом (например, больницы, хранилища, банки и т.д.). От категории надежности и присоединяемой мощности заявителя зависит размер платы на Технологическое присоединение.

С учетом требований к технической стороне вопроса появляется возможность сформировать несколько схем построения сети, удовлетворяющих всем техническим требованиям, но возникает вопрос о том, как выбрать лучшую схему. В этом месте возникает необходимость оценки экономической составляющей вопроса.

Как говорилось ранее, оценка инвестиционных проектов в энергетике классическими методами экономического анализа крайне затруднительна, тем более, когда речь идёт о распределительной сети на низком уровне напряжения, поэтому автор данной работы пытается подойти к вопросу оценки эффективности более комплексно. Данная методика может быть применена исключительно для стратегического планирования, к её недостаткам относится то, что она оценивает эффективность в масштабе МО-1, а не на уровне заявитель-мероприятия для конкретного заявителя, в то же время, у такого подхода есть ряд преимуществ – оценивается перспективное развитие, которое при сокращении масштаба теряется, учитывается синергетический эффект, когда мы для нескольких групп заявителей можем сделать один более крупный узел сети и т.д.

В связи с этим все критерии в описываемой задачи делятся на критерии, связанные с осуществлением мероприятий со стороны СО, с потреблением электроэнергии и перспективным развитием внешней среды, более подробно о каждом виде будет рассказано в 1,2 и 3 параграфах данной главы соответственно.

## 1.1. Доходы/расходы, связанные с осуществлением мероприятий

Первый из доходов, связанных с осуществлением мероприятий для присоединения заявителей (**Доход от тарифа на передачу ЭЭ.** Данный тариф пересматривается ежегодно, а периодически и несколько раз в год. Сумма, которую конечный потребитель видит в платежке включает в себя суммы на покрытие расходов генерирующих компаний, компаний по передачи ЭЭ (Электросетевые компании) и сбытовых компаний. Одним из ключевых факторов, который оказывает влияние на размер тарифа на передачу ЭЭ для конкретной сетевой компании является Необходимая валовая выручка (Далее – НВВ), которая определяется в соответствии с [14] следующим образом:

, где

, где ПР – подконтрольные расходы, в том числе объёмы инвестиций, компенсируемых в тарифе;

НР – неподконтрольные расходы;

В – величина незапланированных доходов/расходов по итогам прошлого периода регулирования.

Стоит отметить, что сейчас политика государства направлена на недопущение роста тарифов на передачу электроэнергии и ожидать ежегодного прироста более чем на 5% не стоит. Это необходимо учесть при построении модели. В этом и во всех параметрах далее расчётный период будет приниматься равный 10 годам для всех доходов и расходов, эффект от которых проявляется длительное время.

Несмотря на то, что срок полезного использования электросетевого оборудования в соответствии с [15] может варьироваться от 3 до 15 лет, а также значительно отличаться от срока службы указанного в Техническом паспорте объекта разумно предположить, что оборудование прослужит 8-10 лет без значительных затрат на его ремонты, а также за этот период не успеет сильно изменится структура муниципального образования, не будет значительного смещения зон высокого потребления электроэнергии.

К факторам риска при таком подходе относится то, что законодательство в области энергетики достаточно изменчиво, и не исключено, что за этот период могут быть переосмыслены сами подходы к расчету тарифа на передачу электроэнергии, что может значительно сказаться на доходах компаний данной отрасли.

Следующий вид доходов для сетевой организации **Доход от тарифа на технологическое присоединение (Далее – Тариф на ТП).** Данный тариф представляет собой размер платы за технологическое присоединение и по логике вещей должен компенсировать СО расходы на выполнение мероприятий «последней мили» для заявителя, т.е. мероприятий связанные со строительством от ближайших объектов электросетевого хозяйства до границ участка заявителя, но на практике это не всегда так. Ставки платы за Технологическое присоединение устанавливаются для каждой сетевой организации индивидуально и пересматриваются ежегодно региональными органами власти, но федеральным законодательством предусматривается ряд льгот для некоторых категорий заявителей [12]. В общем виде расчет Платы за ТП производится по следующей схеме в зависимости от групп заявителей:

Таблица 2. Размер платы за Технологическое Присоединение

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Категория заявителя** | **Срок подачи заявки на ТП** | | |
| **До 30.09.2015г.** | **01.10.2015г. – 30.10.2017г.** | **С 01.11.2017г.** |
| **Льготная категория заявителей** | 550 руб. | 550 руб. | 550 руб. |
| **До 150 кВт (в т.ч. не попавшие под льготу до 15 кВт)** | 100% от выбранного тарифа | 50% | Только ставки на «бумагу» С1.1. и С1.2. |
| **Свыше 150 кВт** | 100% | 100% | 100% |

Способы расчета размера платы на технологическое присоединение для не льготных категорий потребителей:

**Метод №1** – с учетом физических параметров устанавливаемых объектов расчет производится по следующей формуле [13]:

(1)

, где

С1.1, С1.2 , C2, C3, C4, C5 – стандартизированные тарифные ставки (руб);

Lвлi, Lклi – длина воздушных и кабельных линий (км);

Т – количество распределительных пунктов (шт);

Ni – количество трансформаторных подстанций i-го типа (СТП, МТП, КТП, 2КТП, БКТП, 2БКТП).

Указанные выше стандартизированные ставки приводятся в Приложениях №2,3 c [16] и делятся по типу населённого пункта (Городской населенной пункт и не городской) и уровня напряжения сети (СН2 (6-10 кВ) и НН (1-0,4 кВ)).

В случае, если потребителю требуется вторая категория надежности, то размер платы за ТП определяется по:

, где

– размер платы сформированный ставками С1.1, С1.2;

– размер платы для выполнения мероприятий последней мили для присоединения по 1 источнику;

– размер платы для выполнения мероприятий последней мили для присоединения по 2 источнику.

**Метод №2** – по ставке платы за единицу максимальной мощности расчет производится по следующей формуле:

(3)

, где

– плата за ТП в классе напряжения i и диапазоне мощности j (руб).

- ставка платы за единицу максимальной мощности (руб);

- максимальная мощность (кВт).

В случае второй категории расчеты ведутся по формуле (3).

В зависимости от объемов работ заявителю выгодно выбирать то первый то второй метод расчёта платы за ТП. Рассмотрим две ситуации:

В СО приходит заявитель – мелкий предприниматель, его запрашиваемая мощность всего 200 кВт, для его присоединения из мероприятий необходимо протянуть воздушную линию на уровне напряжения 0,4 кВ - 0,5км и воздушную линию условно высокого напряжения 10 кВ – 0,2км и построить небольшую КТП. Для него размер платы рассчитанный по первому методу составит 2,31 млн. руб. без НДС, а по второму методу 4,74 млн. руб. без НДС. Очевидно, что данному заявителю выгодно выбрать первый метод расчета платы за технологическое присоединение.

При этом, если мы рассмотрим ситуацию с крупным заявителем, например, застройщиком, то картина получится совершено иная. Рассмотрим случай, когда присоединяемая мощность 2МВт, для этого нам необходимо построить 2БКТП – 6шт, кабельных линий 0,4 кВ в одноцепном исполнении – 1км, в двухцепном – 1км, кабельных линий 10кВ в двухцепном исполнении – 2км, и 0,4км необходимо построить методом горизонтально направленного бурения (Далее – ГНБ). С учетом присоединяемой мощности и объёмов работ размер платы по первому методу составит 120,18 млн. руб. без НДС, а по второму 85, 26 млн. руб. без НДС. Очевидно, что во втором случае, когда необходимо выполнить большие объёмы работ для заявителя выгодней выбрать второй метод расчета платы за ТП.

В связи с тем, что в соответствии с [17] заявитель в праве сам выбирать метод расчета платы за ТП, для построения модели делаем допущение, что заявитель ведет себя рационально и всегда выбирает наиболее выгодный для себя вариант.

Также к доходам, связанным с осуществлением мероприятий следует относить ещё три вида таковых: Экономия от выполнения Проектно-изыскательских работ (Далее – ПИР) собственными силами (**,** Экономия на вторичном использовании оборудования (**,** Экономия на выполнении Строительно-монтажных работ (Далее – СМР) собственными силами (**.**

Относительно экономии по критериям (**,** (для описываемой модели важно разделить две компоненты этой экономии. Во-первых, при выполнении работ собственными силами доля заработной платы сотрудников, относимая на стоимость объекта нового строительства, составляет 25-38%. Эта цифра включает заработную плату и обязательные страховые взносы за сотрудников, непосредственно занятых в производстве, при этом она не увеличивает общий фонд оплаты труда (Далее – ФОТ) по компании, т.е. это суммы, которые компания потратила бы вне зависимости от занятости этих сотрудников на выполнении конкретных работ. Эта часть экономии в предлагаемой модели будет учитываться уменьшением критериев ((**.** Во-вторых, общая стоимость работ, осуществляемых подрядными организациями выше, чем работы собственными силами на 10-15% в зависимости от вида объекта инвестиций, этапа и вида работ. Эту экономию мы и будем учитывать в критериях (**,** (**.**

Перейдем к рассмотрению показателя ( **-** экономия на вторичном использовании оборудования. На практике бывают ситуации, особенно с крупными заявителями, когда появляется потребность в реконструкции недавно построенной (1-2 года с ввода в эксплуатацию) подстанции с заменой трансформатора(-ов) на больший номинал. Такое оборудование может быть использовано повторно или реализовано по среднерыночной цене для б/у трансформаторов. Повторно используемое оборудование на рынке как правило намного дешевле новых аналогов, в связи с этим выгодней использовать его повторно, а разницу стоимостей можно учитывать как экономию.

Перейдём к рассмотрению расходов, связанных с осуществлением мероприятий по технологическому присоединению. В этом месте сделаем оговорку о том, что в плате за Технологическое присоединение учитываются исключительно мероприятия, направленные на новое строительство электросетевых объектов, при этом для присоединения заявителя иногда не требуется строительство, а необходимо лишь провести реконструкцию некоторых существующих объектов, например, заменить кабель, на кабель с большим сечением или заменить трансформаторы на больший номинал, или установить дополнительные ячейки на подстанции. Данные мероприятия не входят в плату за Технологическое присоединение, но косвенно компенсируются в тарифе на передачу электроэнергии через такой источник финансирования, как амортизация. Для таких объектов классическая оценка эффективности инвестиций вовсе не возможна, т.к. прямых доходов, связанных с этими мероприятиями СО не получает, а расходы несет.

Глобально все прямые затраты по объекту делятся на 3 этапа: ПИР **(f3)**, СМР, Прочие расходы (Далее – ПРЧ). В целях данной работы в этапе СМР отдельно выделим стоимость работ подрядной организации **(f7)**, стоимость материалов и оборудования **(f6)**, работ по ГНБ **(f12)**, разработку грунтов **(f15)**, восстановление газонов и асфальтового покрытия **(f11)**, плату Лесфонду за вырубку, принадлежащих им деревьев **(f16)**, а также горюче-смазочных материалов (Далее – ГСМ) **(f9)**, а этап ПРЧ поделим по группам затрат на стоимость аренды земельных участков **(f13)** и ПРЧ затраты общего характера (в том числе контрольно-исполнительная съемка, лабораторные измерения и иные) **(f10)**. Ещё одни Расходы, связанные с осуществлением мероприятий, СО несет в виде сумм на приобретение земельных участков под цели строительства электросетевых объектов **(f14)**, хотя стоит отметить, что чаще всего земли, на которых требуется провести линию или установить площадной электросетевой объект находятся в муниципальной собственности, в этом случае заключает договор долгосрочной аренды. Выделение в отдельные критерии восстановления асфальтовых и газонных покрытий, работ методом ГНБ, разработка грунта, плата в Лесфонд связано с тем, что данные затраты на прямую зависят от трасы, которую мы выберем для установки электросетевых объектов и не имеет прямой зависимости с объемами выполняем работ.

К косвенным доходам отнесем возможный рост НВВ за счет роста Амортизационных отчислений **(f21)**. При вводе основных средств формируется источник финансирования для целей возобновления основных фондов в виде амортизационных отчислений за срок полезного использования объекта. При проведении мероприятий преимущественно по реконструкции электросетевого имущества, ежегодный поток амортизации остается на прежнем уровне, но в случае обилия мероприятий по строительству новых объектов, общий объём амортизационных отчислений начинает возрастать, а как следствие и возрастает размер НВВ, а в следствии и тариф на передачу электроэнергии. Для данной модели будем учитывать только амортизацию от принятия к учету новых основных средств. Показатель также оценим для последующих 10 лет, понимая, что срок полезного использования у разного оборудования – различен.

## 1.2. Доходы/расходы, связанные с потреблением электроэнергии

На ряду с Доходами и Расходами, связанными с осуществлением мероприятий, которые сетевая организация точно понесет, необходимо учитывать ряд расходов или доходов наступающих, или с определенной вероятностью или при определенных условиях, так, например, при нарушении сроков технологического присоединения на СО в соответствии со Ст. 9.21 КоАП РФ от 30.12.2001 №195-ФЗ может быть наложен штраф в размере от 100 до 500 т.р. при первичном нарушении и от 600 до 1000 т.р. при повторном нарушении. Не редки случаи, когда СО не успевают осуществлять мероприятия в срок, но далеко не каждый заявитель подаст жалобу, поэтому резервы на возможные штрафы за нарушение антимонопольного законодательства **(f17)** в данную модель заложены с учетом статистики по компании о частоте подач жалоб заявителями, а также с учетом срока задержки выполнения мероприятий. Так, задержку в пару недель готовы терпеть все заявители, тем более не менее редкая ситуация, когда СО уже выполнила свои мероприятия, но заявитель не выполнил свою часть Технических условий, что и объясняет пассивность многих заявителей. Когда же речь идёт о задержке в пару месяцев, а то и полугодие, значительно большая часть заявителей подает жалобы на СО. Дополнительно, в случае нарушения сроков выполнения мероприятий по технологическому присоединению, СО теряет транзит электроэнергии по заявителю.

Ещё один вид расходов, который крайне трудно прогнозировать и зависит не от СО – коммерческие потери электроэнергии **(f18)**. Данный вид потерь обусловлен нелегальными врезками в сеть или к электроустановкам на соседних участках. Данные потери можно и необходимо снижать, т.к. они СО никак не компенсируются и покрываются за счет чистой прибыли. При этом мероприятия, направленные на предотвращение хищения электроэнергии, требуют дополнительных расходов со стороны СО. В дополнение ко всему, даже при наличии приборов учета, определить место хищения можно с точностью до фидера, но не до потребителя электроэнергии. Дополнительные трудности в данном вопросе связаны с тем, что приборы учета попросту бывают демонтированы или выведены из строя жителями ближайших домов.

Ещё один вид потерь, уже компенсируемый СО в рамках норматива, технические потери **(f19)** электроэнергии. Данный потери связаны с физическими процессами, происходящими при передаче электроэнергии, так через линии электропередач часть энергии выходит в виде тепла и чем длиннее линия, тем выше потери. Аналогичная ситуация происходит при работе оборудования в аварийном режиме (когда нагрузка выше нормы), или при не верно рассчитанном сечении кабеля. Данные потери снижаются за счет капитальных ремонтов или инвестиционных мероприятий, по разукрупнению узла, например, или при замене оборудования на новое, более энергоэффективное.

## 1.3. Доходы/расходы, связанные с перспективным развитием внешней среды

Расходы на неучтенные в схеме электроснабжения мероприятия **(f20)**. На практике, не редки случаи, когда некоторые особенности территории становятся известны только на стадии осуществления мероприятий. К таким можно отнести – отказ администрации согласовывать схему прохождения трассы, неточности на картах кадастрового учета, в последствии чего линия может пройти по участку с конкретным собственником, или на нем может быть установлена подстанция, отсутствие у администраций карт-схем с обозначением трасс коммуникаций, обнаружение грунтовых вод, повышенная концентрация токсичных веществ в почве и т.д. Часть таких непредвиденных расходов, можно предсказать опираясь на прошлый опыт строительства на конкретной территории, но всегда существует некая неопределенность. Для построения данной модели этой неопределенностью можно пренебречь в связи с тем, что она будет одинаково мала для каждой схемы, т.к. территория одна и та же, а вот первую часть стоит учесть, т.к. для строительства или реконструкции разных видов объектов инвестиций стоимость компенсации подобных обстоятельств отличная.

Ещё одним важным фактором, которые необходимо учитывать при выборе схемы электроснабжения – перспективное развитие территории, а как следствие экономию или дополнительный расход на дальнейшем развитии сети **(f23)**. Данный критерий сам по себе может стать предметом научных исследований и должен формировать ядро схемы развития электроснабжения территории. Например, имея представление о том, где будут располагаться основные потребители электроэнергии через 2, 5, 10, 15 лет, можно воспользоваться основным рекуррентным уравнением Беллмана[14] и определить оптимальное управление на каждом шаге построения сети, которое в конечный момент доставит минимум затрат для СО. В компании, на базе которой выводятся критерии для модели оценки эффективности инвестиций, практикуется заказ разработки схем перспективного развития (Далее – СПР) у сторонних организаций. Стоит отметить, что при разработке СПР разные исполнители используют разные методы оценивания зон с перспективным ростом нагрузок, а, следовательно, и результаты являются вариативными. В дополнение к этому, законодательство в области тарифного регулирования выстроено так, что перспектива развития сети не является обоснованием для включения затрат в инвестиционные программу электросетевых компаний. На сегодня, логика регулирующих органов выстроена так, что при построении сети не должны формировать излишние мощности. Следовательно, СО не может в полной мере учитывать перспективное развитие при развитии территории. Так, например, при установке трансформаторной подстанции, обоснованием выбора номинала трансформатора служат только заключенные договора на технологическое присоединение, при этом, если на близлежащей территории в ближайшее время планируется строительство новых объектов и очевидно, что они в перспективе также подадут заявки на технологическое присоединение, всё, что может сделать СО, это обеспечить технологическую возможность дальнейшего расширения пропускной способности подстанции, в момент, когда перспективные заявки станут реальными. Позиция регулирующих органов в данном случае понятна – исключить необоснованное увеличение стоимости мероприятий, а, следовательно, необоснованный рост тарифов. Но если посмотреть на ситуацию с другой стороны, то такой подход провоцирует рост расходов СО в перспективе, который можно было бы избежать, дав возможность выстроить сеть с учетом перспективных центров нагрузки.

Как следствие перспективного развития территории, стоит учитывать и заявки на технологическое присоединение, которое будут поданы перспективными заявителями, а, следовательно, и рост транзита, за счет вновь присоединяемой мощности **(f24)**. Ещё одной причиной роста транзита является – рост потребления электроэнергии существующими потребителями **(f25).** Это связанно с тем, что количество используемых электроприборов в домах ежегодно растёт.

Если совсем отвлечься от технической стороны вопроса и посмотреть на роль имиджа предприятия на территории населенного пункта и региона, то можно выделить ещё одно направление затрат организации, которое несет в себе определенную выгоду – затраты на поддержку репутации/бренда **(f22)**. Данный вид затрат обычно не учитывается при оценке таких проектов, но т.к. их причиной является осуществление со стороны СО деятельности на территории МО-1, как основной, так и оказания прочих услуг, их нельзя игнорировать. К таким затратам можно отнести затраты связанные с продвижением бренда – спонсорство различных мероприятий, проведение акций по высадке деревьев для возобновления лесов, облагораживание территорий как подарок муниципальным образованиям, что влечет за собой рост узнаваемости бренда с позитивной стороны, а как следствие увеличивает шансы выбора СО на территориях, где действуют несколько компаний в целях подачи заявки на технологическое присоединение, так и в целях найма для осуществления сторонних работ (Например описываемая СО также оказывает услуги по электро-техническим измерениям, сдаёт в аренду спецтехнику, устанавливает уличное освещение и т.д.). Ещё один вид затрат, попадающий под **(f22) –** затраты, связанные с электрификацией социально-значимых объектов, стоит заметить, что речь идёт не об образовательных или медицинских учреждениях, которые подают заявки на технологическое присоединение, а, например, обеспечение техническое возможности освещения памятников, мемориалов и т.д. за счет чистой прибыли компании.

## 1.4. Значения критериев в рассматриваемой задаче

Данные приведенные в Таблице 3 являются продолжением Таблицы 1, где задача приводится в общем виде. Значения для облегчения восприятия приведены с округлением до сотых долей, но в расчётах округление не учитывается. Рассматривается 5 возможных схем построения сети и разные соотношения работ, выполняемых собственными силами и силами подрядных организаций. Комбинация схем электроснабжения и способов выполнения работ на выходе дают 15 альтернативных решений из которых нам и предстоит выбрать лучшее.

Критерий **(f1)** рассчитан на 10 лет с учетом сроков ввода объектов электросетевого хозяйства в эксплуатацию, а, следовательно, с учетом периода, в котором возник транзит электроэнергии, связанный с этими мероприятиями.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица 3. Значения критериев рассматриваемой задачи | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | **f1** | **f2** | **f3** | **f4** | **f5** | **f6** | **f7** | **f8** | **f9** | **f10** | **f11** | **f12** | **f13** | **f14** | **f15** | **f16** | **f17** | **f18** | **f19** | **f20** | **f21** | **f22** | **f23** | **f24** | **f25** |
| **x1** | 7,71 | 59,53 | -28,05 | 0,00 | 4,22 | 0,00 | -265,73 | 0,00 | 0,00 | -19,66 | -0,74 | -14,70 | -1,03 | -3,10 | -1,20 | -2,40 | -0,50 | -0,08 | -0,39 | -13,20 | 160,71 | -0,40 | 60,00 | 0,39 | 0,80 |
| **x2** | 7,09 | 59,53 | -25,62 | 0,00 | 8,45 | -63,35 | -162,56 | 6,37 | -9,49 | -19,87 | -2,21 | -11,76 | -0,83 | -4,14 | -1,60 | -2,16 | -1,30 | -0,07 | -0,36 | -13,20 | 159,36 | -0,10 | 40,00 | 0,35 | 0,74 |
| **x3** | 6,99 | 59,53 | -23,19 | 0,01 | 0,25 | -29,89 | -74,68 | 12,74 | -18,98 | -19,25 | -3,68 | -9,80 | -1,45 | -8,28 | -2,00 | -1,44 | -3,20 | -0,07 | -0,35 | -13,20 | 174,61 | -1,30 | 13,33 | 0,35 | 0,73 |
| **x4** | 7,71 | 53,58 | -26,37 | 0,00 | 3,97 | 0,00 | -249,79 | 0,00 | 0,00 | -18,48 | -0,69 | -13,82 | -0,97 | -2,92 | -1,28 | -2,26 | -0,50 | -0,08 | -0,39 | -21,20 | 151,06 | -0,43 | 56,40 | 0,36 | 0,80 |
| **x5** | 7,09 | 53,58 | -24,08 | 0,00 | 7,94 | -59,55 | -152,80 | 5,99 | -8,92 | -18,68 | -2,07 | -11,06 | -0,78 | -3,89 | -1,68 | -2,03 | -1,30 | -0,07 | -0,36 | -21,20 | 149,80 | -0,14 | 36,40 | 0,33 | 0,74 |
| **x6** | 6,99 | 53,58 | -21,80 | 0,01 | 0,24 | -28,10 | -70,20 | 11,98 | -17,84 | -18,09 | -3,45 | -9,21 | -1,36 | -7,78 | -2,08 | -1,35 | -3,20 | -0,07 | -0,35 | -21,20 | 164,14 | -2,30 | 9,73 | 0,33 | 0,72 |
| **x7** | 7,71 | 63,70 | -31,42 | 0,00 | 4,73 | 0,00 | -297,62 | 0,00 | 0,00 | -22,02 | -0,82 | -16,47 | -1,16 | -3,27 | -1,07 | -2,53 | -0,50 | -0,08 | -0,39 | -17,40 | 179,99 | -0,36 | 63,17 | 0,43 | 0,81 |
| **x8** | 7,09 | 63,70 | -28,69 | 0,00 | 9,46 | -70,95 | -182,06 | 7,14 | -10,63 | -22,25 | -2,47 | -13,17 | -0,93 | -4,36 | -1,47 | -2,27 | -1,30 | -0,07 | -0,36 | -17,40 | 178,48 | -0,12 | 44,37 | 0,40 | 0,74 |
| **x9** | 6,99 | 63,70 | -25,97 | 0,01 | 0,28 | -33,48 | -83,64 | 14,27 | -21,25 | -21,56 | -4,12 | -10,98 | -1,62 | -8,72 | -1,87 | -1,52 | -3,20 | -0,07 | -0,35 | -17,40 | 195,57 | -1,93 | 20,10 | 0,39 | 0,73 |
| **x10** | 7,71 | 68,46 | -35,06 | 0,00 | 5,28 | 0,00 | -332,17 | 0,00 | 0,00 | -24,58 | -0,92 | -18,38 | -1,29 | -4,09 | -0,96 | -3,16 | -0,50 | -0,08 | -0,39 | -8,70 | 200,88 | -0,32 | 78,96 | 0,48 | 0,81 |
| **x11** | 7,09 | 68,46 | -32,02 | 0,01 | 10,56 | -79,18 | -203,20 | 7,96 | -11,86 | -24,84 | -2,76 | -14,70 | -1,03 | -5,45 | -1,36 | -2,84 | -1,30 | -0,07 | -0,36 | -8,70 | 199,20 | -0,11 | 57,90 | 0,44 | 0,75 |
| **x12** | 6,99 | 68,46 | -28,99 | 0,01 | 0,32 | -37,36 | -93,35 | 15,93 | -23,72 | -24,06 | -4,59 | -12,25 | -1,81 | -10,90 | -1,76 | -1,90 | -3,20 | -0,07 | -0,35 | -8,70 | 218,27 | -1,73 | 28,33 | 0,44 | 0,74 |
| **x13** | 7,71 | 53,58 | -28,61 | 0,00 | 4,31 | 0,00 | -271,05 | 0,00 | 0,00 | -20,06 | -0,75 | -15,00 | -1,06 | -4,17 | -1,18 | -3,22 | -0,50 | -0,08 | -0,39 | -12,10 | 163,92 | -0,39 | 80,54 | 0,39 | 0,80 |
| **x14** | 7,09 | 53,58 | -26,13 | 0,00 | 8,62 | -64,61 | -165,81 | 6,50 | -9,68 | -20,27 | -2,25 | -12,00 | -0,84 | -5,56 | -1,58 | -2,90 | -1,30 | -0,07 | -0,36 | -12,10 | 162,55 | -0,13 | 54,22 | 0,36 | 0,74 |
| **x15** | 6,99 | 53,58 | -23,65 | 0,01 | 0,26 | -30,49 | -76,17 | 13,00 | -19,36 | -19,63 | -3,75 | -10,00 | -1,48 | -11,11 | -1,98 | -1,93 | -3,20 | -0,07 | -0,35 | -12,10 | 178,11 | -2,12 | 15,62 | 0,36 | 0,73 |

Критерий **(f2)** изменяется в зависимости объёмов мероприятий, требуемый для присоединения заявителя к электросети в каждой из схем, в соответствии с методикой, рассмотренной в разделе **(1.1)** данной работы.

Критерии **(f3-f16)** рассчитаны, опираясь на технические характеристики объектов, заложенные в каждую из схем и типовые расценки, используемые в компании для выполнения аналогичных мероприятий, также были учтены особенности территории в части нетиповых расходов (Например, плата за вырубку деревьев в Лесфонд, разработка грунтов, восстановление асфальта и газонных покрытий при работе в городе, удорожание при работе в стесненных условия и т.д.).

Критерий **(f17)** базируется на статистике по компании о доле потребителей, падающих жалобы в случае нарушения сроков осуществления мероприятий, указанных в Технических условиях со стороны СО, с учетом срока задержки.

Критерии **(f18-f19)** основываются на статистике по компании, а также на внутренней методике расчета эффектов от осуществления мероприятий, направленных на сокращение коммерческих и технически потерь ЭЭ.

Критерий **(f20)** взят как оценка заведомо рискованных мероприятий, т.е. таких мероприятий, по которым с большой вероятностью, например, может быть не согласована трасса прохождения линии, или найдётся собственник ЗУ, на котором осуществляется строительство и т.д. Стоимость таких мероприятий рассчитывается по аналогии с **(f3-f16).**

Критерии **(f21)** рассчитан как амортизация, которая будет начислена в ближайшие 10 лет в соответствии с требованиями бухгалтерского учета для новых объектов и методикой определения срока полезного использования для вновь вводимых объектов, соавтором которой является автор данной работы.

Критерий **(f22)** определен как затраты на планируемые обязательные мероприятия и мероприятия, связанные с наступлением тех или иных негативных последствий для окружающей среды и социально-экономического развития территории в зависимости от используемых технологий и сроков осуществления работ СО.

Критерий **(f23)** рассчитан как сумма затрат на предстоящие мероприятия в соответствии с разрабатываемой в настоящее время СПР и учетом долгосрочных отраслевых индексов-дефляторов, предоставляемых Министерством Экономического развития РФ.

Критерий **(f24)** определен прирост прибыли за счёт увеличения транзита от присоединения новых перспективных заявителей в соответствии с СПР.

Критерий **(f25)** определен методом линейной экстраполяции на основании исторических данных по росту потребления электроэнергии существующими потребителями.

Из Таблицы 4 видно, что все решения являются недоминируемыми и сузить множество Парето в данный момент не представляется возможным, что неудивительно при таком большом количестве критериев.

Если мы предположим что все рубли в данной модели стоят одинаково, то наилучший вариант легко определить, просуммировав значения всех критериев для конкретного решения, тогда получится вектор решений Х={-57,84;-36,71;57,79;-65,29;-46,74;39,31;-74,57;-47,13;64,36;-68,01;-37,41;84,72;-47,3;-31,93;51,24}, а максимальное из них 84,72 достигается при выборе решения x12, т.е. х\*=х12.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица 4. Попарное сравнение решений | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Номера сравниваемых решений** | **Отношение доминирования** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **x1x2** | х1 | = | х2 | х2 | х2 | х1 | х2 | х2 | х1 | х1 | х1 | х2 | х2 | х1 | х1 | х2 | х1 | х2 | х2 | = | х1 | х2 | х1 | х1 | х1 |
| **x1x3** | х1 | = | х3 | х3 | х1 | х1 | х3 | х3 | х1 | х3 | х1 | х3 | х1 | х1 | х1 | х3 | х1 | х3 | х3 | = | х3 | х1 | х1 | х1 | х1 |
| **x1x4** | = | х1 | х4 | = | х1 | = | х4 | = | = | х4 | х4 | х4 | х4 | х4 | х1 | х4 | = | = | = | х1 | х1 | х1 | х1 | х1 | х1 |
| **x1x5** | х1 | х1 | х5 | х5 | х5 | х1 | х5 | х5 | х1 | х5 | х1 | х5 | х5 | х1 | х1 | х5 | х1 | х5 | х5 | х1 | х1 | х5 | х1 | х1 | х1 |
| **x1x6** | х1 | х1 | х6 | х6 | х1 | х1 | х6 | х6 | х1 | х6 | х1 | х6 | х1 | х1 | х1 | х6 | х1 | х6 | х6 | х1 | х6 | х1 | х1 | х1 | х1 |
| **x1x7** | = | х7 | х1 | = | х7 | = | х1 | = | = | х1 | х1 | х1 | х1 | х1 | х7 | х1 | = | = | = | х1 | х7 | х7 | х7 | х7 | х7 |
| **x1x8** | х1 | х8 | х1 | х8 | х8 | х1 | х8 | х8 | х1 | х1 | х1 | х8 | х8 | х1 | х1 | х8 | х1 | х8 | х8 | х1 | х8 | х8 | х1 | х8 | х1 |
| **x1x9** | х1 | х9 | х9 | х9 | х1 | х1 | х9 | х9 | х1 | х1 | х1 | х9 | х1 | х1 | х1 | х9 | х1 | х9 | х9 | х1 | х9 | х1 | х1 | х9 | х1 |
| **x1x10** | = | х10 | х1 | = | х10 | = | х1 | = | = | х1 | х1 | х1 | х1 | х1 | х10 | х1 | = | = | = | х10 | х10 | х10 | х10 | х10 | х10 |
| **x1x11** | х1 | х11 | х1 | х11 | х11 | х1 | х11 | х11 | х1 | х1 | х1 | = | = | х1 | х1 | х1 | х1 | х11 | х11 | х11 | х11 | х11 | х1 | х11 | х1 |
| **x1x12** | х1 | х12 | х1 | х12 | х1 | х1 | х12 | х12 | х1 | х1 | х1 | х12 | х1 | х1 | х1 | х12 | х1 | х12 | х12 | х12 | х12 | х1 | х1 | х12 | х1 |
| **x1x13** | = | х1 | х1 | = | х13 | = | х1 | = | = | х1 | х1 | х1 | х1 | х1 | х13 | х1 | = | = | = | х13 | х13 | х13 | х13 | х13 | х13 |
| **x1x14** | х1 | х1 | х14 | х14 | х14 | х1 | х14 | х14 | х1 | х1 | х1 | х14 | х14 | х1 | х1 | х1 | х1 | х14 | х14 | х14 | х14 | х14 | х1 | х1 | х1 |
| **x1x15** | х1 | х1 | х15 | х15 | х1 | х1 | х15 | х15 | х1 | х15 | х1 | х15 | х1 | х1 | х1 | х15 | х1 | х15 | х15 | х15 | х15 | х1 | х1 | х1 | х1 |
| **x2x3** | х2 | = | х3 | х3 | х2 | х3 | х3 | х3 | х2 | х3 | х2 | х3 | х2 | х2 | х2 | х3 | х2 | х3 | х3 | = | х3 | х2 | х2 | х2 | х2 |
| **x2x4** | х4 | х2 | х2 | х2 | х2 | х4 | х2 | х2 | х4 | х4 | х4 | х2 | х2 | х4 | х4 | х2 | х4 | х2 | х2 | х2 | х2 | х2 | х4 | х4 | х4 |
| **x2x5** | = | х2 | х5 | х2 | х2 | х5 | х5 | х2 | х5 | х5 | х5 | х5 | х5 | х5 | х2 | х5 | = | = | = | х2 | х2 | х2 | х2 | х2 | х2 |
| **x2x6** | х2 | х2 | х6 | х6 | х2 | х6 | х6 | х6 | х2 | х6 | х2 | х6 | х2 | х2 | х2 | х6 | х2 | х6 | х6 | х2 | х6 | х2 | х2 | х2 | х2 |
| **x2x7** | х7 | х7 | х2 | х2 | х2 | х7 | х2 | х2 | х7 | х2 | х7 | х2 | х2 | х7 | х7 | х2 | х7 | х2 | х2 | х2 | х7 | х2 | х7 | х7 | х7 |
| **x2x8** | = | х8 | х2 | х8 | х8 | х2 | х2 | х8 | х2 | х2 | х2 | х2 | х2 | х2 | х8 | х2 | = | = | = | х2 | х8 | х2 | х8 | х8 | х8 |
| **x2x9** | х2 | х9 | х2 | х9 | х2 | х9 | х9 | х9 | х2 | х2 | х2 | х9 | х2 | х2 | х2 | х9 | х2 | х9 | х9 | х2 | х9 | х2 | х2 | х9 | х2 |
| **x2x10** | х10 | х10 | х2 | х2 | х2 | х10 | х2 | х2 | х10 | х2 | х10 | х2 | х2 | х10 | х10 | х2 | х10 | х2 | х2 | х10 | х10 | х2 | х10 | х10 | х10 |
| **x2x11** | = | х11 | х2 | х11 | х11 | х2 | х2 | х11 | х2 | х2 | х2 | х2 | х2 | х2 | х11 | х2 | = | = | = | х11 | х11 | х2 | х11 | х11 | х11 |
| **x2x12** | х2 | х12 | х2 | х12 | х2 | х12 | х12 | х12 | х2 | х2 | х2 | х2 | х2 | х2 | х2 | х12 | х2 | х12 | х12 | х12 | х12 | х2 | х2 | х12 | х2 |
| **x2x13** | х13 | х2 | х2 | х2 | х2 | х13 | х2 | х2 | х13 | х2 | х13 | х2 | х2 | х2 | х13 | х2 | х13 | х2 | х2 | х13 | х13 | х2 | х13 | х13 | х13 |
| **x2x14** | = | х2 | х2 | х14 | х14 | х2 | х2 | х14 | х2 | х2 | х2 | х2 | х2 | х2 | х14 | х2 | = | = | = | х14 | х14 | х2 | х14 | х14 | х14 |
| **x2x15** | х2 | х2 | х15 | х15 | х2 | х15 | х15 | х15 | х2 | х15 | х2 | х15 | х2 | х2 | х2 | х15 | х2 | х15 | х15 | х15 | х15 | х2 | х2 | х15 | х2 |
| **x3x4** | х4 | х3 | х3 | х3 | х4 | х4 | х3 | х3 | х4 | х4 | х4 | х3 | х4 | х4 | х4 | х3 | х4 | х3 | х3 | х3 | х3 | х4 | х4 | х4 | х4 |
| **x3x5** | х5 | х3 | х3 | х3 | х5 | х3 | х3 | х3 | х5 | х5 | х5 | х3 | х5 | х5 | х5 | х3 | х5 | х3 | х3 | х3 | х3 | х5 | х5 | х3 | х5 |
| **x3x6** | = | х3 | х6 | х3 | х3 | х6 | х6 | х3 | х6 | х6 | х6 | х6 | х6 | х6 | х3 | х6 | = | = | = | х3 | х3 | х3 | х3 | х3 | х3 |
| **x3x7** | х7 | х7 | х3 | х3 | х7 | х7 | х3 | х3 | х7 | х3 | х7 | х3 | х7 | х7 | х7 | х3 | х7 | х3 | х3 | х3 | х7 | х7 | х7 | х7 | х7 |
| **x3x8** | х8 | х8 | х3 | х3 | х8 | х3 | х3 | х3 | х8 | х3 | х8 | х3 | х8 | х8 | х8 | х3 | х8 | х3 | х3 | х3 | х8 | х8 | х8 | х8 | х8 |
| **x3x9** | = | х9 | х3 | х9 | х9 | х3 | х3 | х9 | х3 | х3 | х3 | х3 | х3 | х3 | х9 | х3 | = | = | = | х3 | х9 | х3 | х9 | х9 | х9 |
| **x3x10** | х10 | х10 | х3 | х3 | х10 | х10 | х3 | х3 | х10 | х3 | х10 | х3 | х10 | х10 | х10 | х3 | х10 | х3 | х3 | х10 | х10 | х10 | х10 | х10 | х10 |
| **x3x11** | х11 | х11 | х3 | х3 | х11 | х3 | х3 | х3 | х11 | х3 | х11 | х3 | х11 | х11 | х11 | х3 | х11 | х3 | х3 | х11 | х11 | х11 | х11 | х11 | х11 |
| **x3x12** | = | х12 | х3 | х12 | х12 | х3 | х3 | х12 | х3 | х3 | х3 | х3 | х3 | х3 | х12 | х3 | = | = | = | х12 | х12 | х3 | х12 | х12 | х12 |
| **x3x13** | х13 | х3 | х3 | х3 | х13 | х13 | х3 | х3 | х13 | х3 | х13 | х3 | х13 | х13 | х13 | х3 | х13 | х3 | х3 | х13 | х3 | х13 | х13 | х13 | х13 |
| **x3x14** | х14 | х3 | х3 | х3 | х14 | х3 | х3 | х3 | х14 | х3 | х14 | х3 | х14 | х14 | х14 | х3 | х14 | х3 | х3 | х14 | х3 | х14 | х14 | х14 | х14 |
| **x3x15** | = | х3 | х3 | х15 | х15 | х3 | х3 | х15 | х3 | х3 | х3 | х3 | х3 | х3 | х15 | х3 | = | = | = | х15 | х15 | х3 | х15 | х15 | х15 |
| **x4x5** | х4 | = | х5 | х5 | х5 | х4 | х5 | х5 | х4 | х4 | х4 | х5 | х5 | х4 | х4 | х5 | х4 | х5 | х5 | = | х4 | х5 | х4 | х4 | х4 |
| **x4x6** | х4 | = | х6 | х6 | х4 | х4 | х6 | х6 | х4 | х6 | х4 | х6 | х4 | х4 | х4 | х6 | х4 | х6 | х6 | = | х6 | х4 | х4 | х4 | х4 |
| **x4x7** | = | х7 | х4 | = | х7 | = | х4 | = | = | х4 | х4 | х4 | х4 | х4 | х7 | х4 | = | = | = | х7 | х7 | х7 | х7 | х7 | х7 |
| **x4x8** | х4 | х8 | х4 | х8 | х8 | х4 | х8 | х8 | х4 | х4 | х4 | х8 | х8 | х4 | х4 | х4 | х4 | х8 | х8 | х8 | х8 | х8 | х4 | х8 | х4 |
| **x4x9** | х4 | х9 | х9 | х9 | х4 | х4 | х9 | х9 | х4 | х4 | х4 | х9 | х4 | х4 | х4 | х9 | х4 | х9 | х9 | х9 | х9 | х4 | х4 | х9 | х4 |
| **x4x10** | = | х10 | х4 | = | х10 | = | х4 | = | = | х4 | х4 | х4 | х4 | х4 | х10 | х4 | = | = | = | х10 | х10 | х10 | х10 | х10 | х10 |
| **x4x11** | х4 | х11 | х4 | х11 | х11 | х4 | х11 | х11 | х4 | х4 | х4 | х4 | х4 | х4 | х4 | х4 | х4 | х11 | х11 | х11 | х11 | х11 | х11 | х11 | х4 |
| **x4x12** | х4 | х12 | х4 | х12 | х4 | х4 | х12 | х12 | х4 | х4 | х4 | х12 | х4 | х4 | х4 | х12 | х4 | х12 | х12 | х12 | х12 | х4 | х4 | х12 | х4 |
| **x4x13** | = | = | х4 | = | х13 | = | х4 | = | = | х4 | х4 | х4 | х4 | х4 | х13 | х4 | = | = | = | х13 | х13 | х13 | х13 | х13 | х13 |
| **x4x14** | х4 | = | х14 | х14 | х14 | х4 | х14 | х14 | х4 | х4 | х4 | х14 | х14 | х4 | х4 | х4 | х4 | х14 | х14 | х14 | х14 | х14 | х4 | х4 | х4 |
| **x4x15** | х4 | = | х15 | х15 | х4 | х4 | х15 | х15 | х4 | х4 | х4 | х15 | х4 | х4 | х4 | х15 | х4 | х15 | х15 | х15 | х15 | х4 | х4 | х4 | х4 |
| **x5x6** | х5 | = | х6 | х6 | х5 | х6 | х6 | х6 | х5 | х6 | х5 | х6 | х5 | х5 | х5 | х6 | х5 | х6 | х6 | = | х6 | х5 | х5 | х5 | х5 |
| **x5x7** | х7 | х7 | х5 | х5 | х5 | х7 | х5 | х5 | х7 | х5 | х7 | х5 | х5 | х7 | х7 | х5 | х7 | х5 | х5 | х7 | х7 | х5 | х7 | х7 | х7 |
| **x5x8** | = | х8 | х5 | х8 | х8 | х5 | х5 | х8 | х5 | х5 | х5 | х5 | х5 | х5 | х8 | х5 | = | = | = | х8 | х8 | х8 | х8 | х8 | х8 |
| **x5x9** | х5 | х9 | х5 | х9 | х5 | х9 | х9 | х9 | х5 | х5 | х5 | х9 | х5 | х5 | х5 | х9 | х5 | х9 | х9 | х9 | х9 | х5 | х5 | х9 | х5 |
| **x5x10** | х10 | х10 | х5 | х5 | х5 | х10 | х5 | х5 | х10 | х5 | х10 | х5 | х5 | х5 | х10 | х5 | х10 | х5 | х5 | х10 | х10 | х5 | х10 | х10 | х10 |
| **x5x11** | = | х11 | х5 | х11 | х11 | х5 | х5 | х11 | х5 | х5 | х5 | х5 | х5 | х5 | х11 | х5 | = | = | = | х11 | х11 | х11 | х11 | х11 | х11 |
| **x5x12** | х5 | х12 | х5 | х12 | х5 | х12 | х12 | х12 | х5 | х5 | х5 | х5 | х5 | х5 | х5 | х12 | х5 | х12 | х12 | х12 | х12 | х5 | х5 | х12 | х12 |
| **x5x13** | х13 | = | х5 | х5 | х5 | х13 | х5 | х5 | х13 | х5 | х13 | х5 | х5 | х5 | х13 | х5 | х13 | х5 | х5 | х13 | х13 | х5 | х13 | х13 | х13 |
| **x5x14** | = | = | х5 | х14 | х14 | х5 | х5 | х14 | х5 | х5 | х5 | х5 | х5 | х5 | х14 | х5 | = | = | = | х14 | х14 | х14 | х14 | х14 | х14 |
| **x5x15** | х5 | = | х15 | х15 | х5 | х15 | х15 | х15 | х5 | х5 | х5 | х15 | х5 | х5 | х5 | х15 | х5 | х15 | х15 | х15 | х15 | х5 | х5 | х15 | х5 |
| **x6x7** | х7 | х7 | х6 | х6 | х7 | х7 | х6 | х6 | х7 | х6 | х7 | х6 | х7 | х7 | х7 | х6 | х7 | х6 | х6 | х7 | х7 | х7 | х7 | х7 | х7 |
| **x6x8** | х8 | х8 | х6 | х6 | х8 | х6 | х6 | х6 | х8 | х6 | х8 | х6 | х8 | х8 | х8 | х6 | х8 | х6 | х6 | х8 | х8 | х8 | х8 | х8 | х8 |
| **x6x9** | = | х9 | х6 | х9 | х9 | х6 | х6 | х9 | х6 | х6 | х6 | х6 | х6 | х6 | х9 | х6 | = | = | = | х9 | х9 | х9 | х9 | х9 | х9 |
| **x6x10** | х10 | х10 | х6 | х6 | х10 | х10 | х6 | х6 | х10 | х6 | х10 | х6 | х10 | х10 | х10 | х6 | х10 | х6 | х6 | х10 | х10 | х10 | х10 | х10 | х10 |
| **x6x11** | х11 | х11 | х6 | х6 | х11 | х6 | х6 | х6 | х11 | х6 | х11 | х6 | х11 | х11 | х11 | х6 | х11 | х6 | х6 | х11 | х11 | х11 | х11 | х11 | х11 |
| **x6x12** | = | х12 | х6 | х12 | х12 | х6 | х6 | х12 | х6 | х6 | х6 | х6 | х6 | х6 | х12 | х6 | = | = | = | х12 | х12 | х12 | х12 | х12 | х12 |
| **x6x13** | х13 | = | х6 | х6 | х13 | х13 | х6 | х6 | х13 | х6 | х13 | х6 | х13 | х13 | х13 | х6 | х13 | х6 | х6 | х13 | х6 | х13 | х13 | х13 | х13 |
| **x6x14** | х14 | = | х6 | х6 | х14 | х6 | х6 | х6 | х14 | х6 | х14 | х6 | х14 | х14 | х14 | х6 | х14 | х6 | х6 | х14 | х6 | х14 | х14 | х14 | х14 |
| **x6x15** | = | = | х6 | х15 | х15 | х6 | х6 | х15 | х6 | х6 | х6 | х6 | х6 | х6 | х15 | х6 | = | = | = | х15 | х15 | х15 | х15 | х15 | х15 |
| **x7x9** | х7 | = | х9 | х9 | х9 | х7 | х9 | х9 | х7 | х7 | х7 | х9 | х9 | х7 | х7 | х9 | х7 | х9 | х9 | = | х7 | х9 | х7 | х7 | х7 |
| **x7x10** | х7 | = | х10 | х10 | х7 | х7 | х10 | х10 | х7 | х10 | х7 | х10 | х7 | х7 | х7 | х10 | х7 | х10 | х10 | = | х10 | х7 | х7 | х7 | х7 |
| **x7x11** | = | х11 | х7 | = | х11 | = | х7 | = | = | х7 | х7 | х7 | х7 | х7 | х11 | х7 | = | = | = | х11 | х11 | х11 | х11 | х11 | х11 |
| **x7x12** | х7 | х12 | х7 | х12 | х12 | х7 | х12 | х12 | х7 | х7 | х7 | х12 | х12 | х7 | х7 | х7 | х7 | х12 | х12 | х12 | х12 | х12 | х7 | х12 | х7 |
| **x7x13** | х7 | х13 | х13 | х13 | х7 | х7 | х13 | х13 | х7 | х7 | х7 | х13 | х7 | х7 | х7 | х13 | х7 | х13 | х13 | х13 | х13 | х7 | х7 | х13 | х7 |
| **x7x14** | = | х7 | х14 | = | х7 | = | х14 | = | = | х14 | х14 | х14 | х14 | х7 | х7 | х7 | = | = | = | х14 | х7 | х7 | х14 | х7 | х7 |
| **x7x15** | х7 | х7 | х15 | х15 | х15 | х7 | х15 | х15 | х7 | х15 | х7 | х15 | х15 | х7 | х7 | х7 | х7 | х15 | х15 | х15 | х7 | х15 | х7 | х7 | х7 |
| **x8x9** | х8 | = | х9 | х9 | х8 | х9 | х9 | х9 | х8 | х9 | х8 | х9 | х8 | х8 | х8 | х9 | х8 | х9 | х9 | = | х9 | х8 | х8 | х8 | х8 |
| **x8x10** | х10 | х10 | х8 | х8 | х8 | х10 | х8 | х8 | х10 | х8 | х10 | х8 | х8 | х10 | х10 | х8 | х10 | х8 | х8 | х10 | х10 | х8 | х10 | х10 | х10 |
| **x8x11** | = | х11 | х8 | х11 | х11 | х8 | х8 | х11 | х8 | х8 | х8 | х8 | х8 | х8 | х11 | х8 | = | = | = | х11 | х11 | х11 | х11 | х11 | х11 |
| **x8x12** | х8 | х12 | х8 | х12 | х8 | х12 | х12 | х12 | х8 | х8 | х8 | х12 | х8 | х8 | х8 | х12 | х8 | х12 | х12 | х12 | х12 | х8 | х8 | х12 | х8 |
| **x8x13** | х13 | х8 | х13 | х8 | х8 | х13 | х8 | х8 | х13 | х13 | х13 | х8 | х8 | х13 | х13 | х8 | х13 | х8 | х8 | х13 | х8 | х8 | х13 | х8 | х13 |
| **x8x14** | = | х8 | х14 | х8 | х8 | х14 | х14 | х8 | х14 | х14 | х14 | х14 | х14 | х8 | х8 | х8 | = | = | = | х14 | х8 | х8 | х14 | х8 | х8 |
| **x8x15** | х8 | х8 | х15 | х15 | х8 | х15 | х15 | х15 | х8 | х15 | х8 | х15 | х8 | х8 | х8 | х15 | х8 | х15 | х15 | х15 | х8 | х8 | х8 | х8 | х8 |
| **x9x10** | х10 | х10 | х9 | х9 | х10 | х10 | х9 | х9 | х10 | х9 | х10 | х9 | х10 | х10 | х10 | х9 | х10 | х9 | х9 | х10 | х10 | х10 | х10 | х10 | х10 |
| **x9x11** | х11 | х11 | х9 | х9 | х11 | х9 | х9 | х9 | х11 | х9 | х11 | х9 | х11 | х11 | х11 | х9 | х11 | х9 | х9 | х11 | х11 | х11 | х11 | х11 | х11 |
| **x9x12** | = | х12 | х9 | х12 | х12 | х9 | х9 | х12 | х9 | х9 | х9 | х9 | х9 | х9 | х12 | х9 | = | = | = | х12 | х12 | х12 | х12 | х12 | х12 |
| **x9x13** | х13 | х9 | х9 | х9 | х13 | х13 | х9 | х9 | х13 | х13 | х13 | х9 | х13 | х13 | х13 | х9 | х13 | х9 | х9 | х13 | х9 | х13 | х13 | х13 | х13 |
| **x9x14** | х14 | х9 | х9 | х9 | х14 | х9 | х9 | х9 | х14 | х14 | х14 | х9 | х14 | х14 | х14 | х9 | х14 | х9 | х9 | х14 | х9 | х14 | х14 | х9 | х14 |
| **x9x15** | = | х9 | х15 | х9 | х9 | х15 | х15 | х9 | х15 | х15 | х15 | х15 | х15 | х9 | х9 | х9 | = | = | = | х15 | х9 | х9 | х9 | х9 | х9 |
| **x10x11** | х10 | = | х11 | х11 | х11 | х10 | х11 | х11 | х10 | х10 | х10 | х11 | х11 | х10 | х10 | х11 | х10 | х11 | х11 | = | х10 | х11 | х10 | х10 | х10 |
| **x10x12** | х10 | = | х12 | х12 | х10 | х10 | х12 | х12 | х10 | х12 | х10 | х12 | х10 | х10 | х10 | х12 | х10 | х12 | х12 | = | х12 | х10 | х10 | х10 | х10 |
| **x10x13** | = | х10 | х13 | = | х10 | = | х13 | = | = | х13 | х13 | х13 | х13 | х10 | х10 | х10 | = | = | = | х10 | х10 | х10 | х13 | х10 | х10 |
| **x10x14** | х10 | х10 | х14 | х14 | х14 | х10 | х14 | х14 | х10 | х14 | х10 | х14 | х14 | х10 | х10 | х14 | х10 | х14 | х14 | х10 | х10 | х14 | х10 | х10 | х10 |
| **x10x15** | х10 | х10 | х15 | х15 | х10 | х10 | х15 | х15 | х10 | х15 | х10 | х15 | х10 | х10 | х10 | х15 | х10 | х15 | х15 | х10 | х10 | х10 | х10 | х10 | х10 |
| **x11x12** | х11 | = | х12 | х12 | х11 | х12 | х12 | х12 | х11 | х12 | х11 | х12 | х11 | х11 | х11 | х12 | х11 | х12 | х12 | = | х12 | х11 | х11 | х11 | х11 |
| **x11x13** | х13 | х11 | х13 | х11 | х11 | х13 | х11 | х11 | х13 | х13 | х13 | х11 | х11 | х13 | х13 | х11 | х13 | х11 | х11 | х11 | х11 | х11 | х13 | х11 | х13 |
| **x11x14** | = | х11 | х14 | х11 | х11 | х14 | х14 | х11 | х14 | х14 | х14 | х14 | х14 | х11 | х11 | х11 | = | = | = | х11 | х11 | х11 | х11 | х11 | х11 |
| **x11x15** | х11 | х11 | х15 | х15 | х11 | х15 | х15 | х15 | х11 | х15 | х11 | х15 | х11 | х11 | х11 | х15 | х11 | х15 | х15 | х11 | х11 | х11 | х11 | х11 | х11 |
| **x12x13** | х13 | х12 | х13 | х12 | х13 | х13 | х12 | х12 | х13 | х13 | х13 | х12 | х13 | х13 | х13 | х12 | х13 | х12 | х12 | х12 | х12 | х13 | х13 | х12 | х13 |
| **x12x14** | х14 | х12 | х14 | х12 | х14 | х12 | х12 | х12 | х14 | х14 | х14 | х14 | х14 | х14 | х14 | х12 | х14 | х12 | х12 | х12 | х12 | х14 | х14 | х12 | х14 |
| **x12x15** | = | х12 | х15 | х12 | х12 | х15 | х15 | х12 | х15 | х15 | х15 | х15 | х15 | х12 | х12 | х12 | = | = | = | х12 | х12 | х12 | х12 | х12 | х12 |
| **x13x14** | х13 | = | х14 | х14 | х14 | х13 | х14 | х14 | х13 | х13 | х13 | х14 | х14 | х13 | х13 | х14 | х13 | х14 | х14 | = | х13 | х14 | х13 | х13 | х13 |
| **x13x15** | х13 | = | х15 | х15 | х13 | х13 | х15 | х15 | х13 | х15 | х13 | х15 | х13 | х13 | х13 | х15 | х13 | х15 | х15 | = | х15 | х13 | х13 | х13 | х13 |
| **x14x15** | х14 | = | х15 | х15 | х14 | х15 | х15 | х15 | х14 | х15 | х14 | х15 | х14 | х14 | х14 | х15 | х14 | х15 | х15 | = | х15 | х14 | х14 | х14 | х14 |

# Глава 2. Свертка критериев

Вопрос необходимости свертки критериев возникает в тот момент, когда мы отказываемся от гипотезы о том, что все рубли в данной модели стоят одинаково, встает вопрос об их весомости для конечного результата. В целях данной работы попробуем решить проблему выбрав линейную свертку критериев, которую в свою очередь необходимо максимизировать:

(1)

Данную функцию также принято называть *линейной функцией полезности*.

Основано данное решение на том, что при определении критериев исходной задачи, они были выбраны таким образом, чтобы каждый из них выражал денежные последствия того или иного решения. Чем выше сумма, которую мы получим при выборе того или иного инвестиционного проекта с учетом способов его реализации, тем выше эффективность инвестиций. Остается вопрос о том, как адекватно определить денежные последствия того или иного фактора и степень его значимости для конечного результата.

Стоит отметить, что линейная свертка критериев не всегда может доставлять максимум целевой функции, например, если речь идёт о площадных объектах, а критерии соответственно длина и ширина, то путём суммирования критериев максимум будет получен далеко не всегда. Продемонстрируем это на небольшом примере:

Таблица 4. Данные об объекте

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **№** | Длина | Ширина | Сумма | Площадь |
| **1** | 12 | 2 | 14 | 24 |
| **2** | 5 | 5 | 10 | 25 |
| **3** | 3 | 10 | 13 | 30 |

Таким образом очевидно, что максимум при суммировании критериев достигается у объекта №1, при этом самая большая площадь у объекта №3. Следовательно верный выбор возможен только при определении функции как:

Данный пример наглядно демонстрирует, что неверно подобранная функция может привести к абсолютно неадекватному решению.

Линейная свертка критериев применялась ещё в XX веке для оценки качества продукции и услуг А.Н. Крыловым. В нашей же задаче для того, чтобы линейная свертка критериев давала адекватный результат необходимо сохранение двух условий:

**Первое.** Должна выполняться аксиома исключения доминируемых векторов [3], т.е. должен выполняться один из следующих случаев:

1. Для ЛПР решение x’ предпочтительней чем x’’ ();
2. Для ЛПР решение x” предпочтительней чем x’ ();
3. ЛПР не может отдать предпочтение ни одному решению.

**Второе.** Должны существовать коэффициенты , при которых отношение предпочтения представляется линейной функцией:

Т.е. если для вектора найдётся другой вектор, такой что, его значения доставляют линейной свертке большее значение, он будет исключен из выбора.

Всё это позволяет значительно сузить множество выбираемых векторов, в идеале, до одного - лучшего решения x\*. Далее речь пойдёт о том, как выбрать весовые коэффициенты для линейной свертки.

# Глава 3. Выбор весовых коэффициентов

## Общие сведения

Вопрос выбора весовых коэффициентов достаточно непрост и какого-то универсального метода здесь также, как и в случае выбора синтезирующей функции, не существует. Данному вопросу особое внимание в своих работах уделали и Ногин В.Д. [18], и Глотов В.А и Павельев В.В. [13], и Хованов Н.В. [16] и др.

Так в своих работах Ногин В.Д. [17] предлагает подход, значительно отличающийся от методов, используемых в другой научной литературе. Он вводит понятие простейшего кванта информации, т.е. предлагает использовать информацию о том на какой компромисс готово пойти ЛПР по одному из критериев ради улучшения значения по другому критерию. В данном случаем речь идёт уже не о значимости критериев для общей цели и не о доли их значимости, что зачастую проще для восприятия ЛПР. Проблемой данного метода является значительное усложнение расчетов для большого количества критериев, а зачастую простой невозможностью применения метода при большом количестве критериев. Это связано с тем, что становится крайне трудно выявить независимые кванты информации, однозначно определить весомость критериев, особенно если мы начинаем объединять их в группы и использовать квант информации о важности одной группы по отношению к другой. На практике, в этом случае трудно будет получить информацию от ЛПР в том виде, в котором она требуется для построения корректных зависимостей.

В решаемой задаче определение весовых коэффициентов усложняется наличием несколько ЛПР (сотрудники различных дирекций, принимающих участие в определении конкретной схемы), мнения которых совпадают не во всех вопросах. Например, если ввести правило строгого предпочтения для всех ЛПР и дать им опросные листы, в которых нужно будет пронумеровать все критерии по важности от 1 до 25, даже определив самый важный критерий мы не сможем корректно принять решение.

Если мы примем за наилучшее решение то, которое занимает максимальную позицию по большинству критериев, мы также допустим ошибку, в силу того, что не учитывается вес критерия. Мы можем попробовать модифицировать правило де Борда, только не относительно объекта в целом, а относительно мест, которые занимают критерии по этому объекту среди остальных объектов. Объект, который наберет максимум по сумме рангов всех критериев можно принять за лучший, как наиболее отвечающий требованиям. Такой подход опять же, может быть применим, в том случае если критерии имеют относительно одинаковую важность для конечной цели. В случае же, когда критерии заведомо имеют разный вес, это правило использовать невозможно.

С учетом разной значимости критериев для ЛПР обратимся к работам Саати Т. [6] и Методу анализа иерархий. В силу того, что значения всех критериев приведены в соизмеримом виде, нет потребности сравнивать каждый критерий между собой, они по сути уже сравнены и степень проявления каждого соизмерим со степенью проявления других. Остается вопрос о степени влияния каждого из критериев на конечную цель.

## Определение уровней иерархии

В связи с тем, что в задаче участвует 25 критериев, предлагается по аналогии с МАИ выделить подгруппы критериев (2 уровень) в соответствии с делением, приведенным в Главе 1, определить вес критерия внутри группы, а затем влияние группы на конечную цель. Группу №1 – Доходы/Расходы, связанные с осуществлением мероприятий, поделим ещё на 3 смысловые подгруппы (3 уровень иерархии): Доходы, Вид работ, Прочие расходы; а Группу №3 поделим на 3 подгруппы по влиянию на размер тарифа на передачу и отдельно выделим расходы на поддержание бренда. Каждая из смысловых подгрупп позволяет отдать своё предпочтение нескольким, часто взаимно противоположным вещам. Отношение каждого критерия к какой-то из подгрупп приведено на Рисунке 1.

Рисунок 1. Иерархия целей рассматриваемой задачи

Таким образом полученная иерархия целей является несимметричной, количество подцелей и их наполнение на разных уровнях отличное. ЛПР был предложен опросник, приведенный в Приложении №1, основанный на движении с нижних уровней иерархии к верхним для определения весомости каждого критерия для подцели и их вес относительно глобальной цели.

## Определение весовых коэффициентов

Получаем 3 уровня целей – третий уровень целей определяется 21 критерием {f1, f2, f3, f4, f5, f6, f7, f8, f9, f10, f11, f12, f13, f14, f15, f16, f21, f24, f25, f20, f3}, второй уровень целей определяется 9 критериями, 6 из которых являются результатами подцелей {f”1, f”2, f”3, f”4(f17), f”5(f18), f”6(f19), f”7, f”8, f”9}, и 3 критерия отвечающих цели 1 уровня {f’1,f’2,f’3}. Опираясь на положения МАИ в части определения весов и на результаты опросника, были посчитаны весовые коэффициенты влияния каждого критерия на цель, которой он служит. Для удобства коэффициенты были нормированы, а данные приведены в таблице ниже:

Таблица 5. Весовые коэффициенты по уровням целей.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Критерий вышестоящего уровня** | **Критерий** | **Нормированный весовой коэффициент к вышестоящему уровню** | **Критерий нижестоящего уровня** |
| f"1 | f1 | 0,64 | - |
| f"1 | f2 | 0,36 | - |
| f"2 | f3 | 0,09 | - |
| f"2 | f4 | 0,06 | - |
| f"2 | f5 | 0,21 | - |
| f"2 | f6 | 0,12 | - |
| f"2 | f7 | 0,24 | - |
| f"2 | f8 | 0,24 | - |
| f"2 | f9 | 0,03 | - |
| f"3 | f10 | 0,08 | - |
| f"3 | f11 | 0,14 | - |
| f"3 | f12 | 0,22 | - |
| f"3 | f13 | 0,08 | - |
| f"3 | f14 | 0,14 | - |
| f"3 | f15 | 0,11 | - |
| f"3 | f16 | 0,24 | - |
| f'2 | f"4(f17) | 0,18 | - |
| f'2 | f"5(f18) | 0,41 | - |
| f'2 | f"6(f19) | 0,41 | - |
| f"8 | f20 | 0,56 | - |
| f"7 | f21 | 0,31 | - |
| f'3 | f"9(f22) | 0,13 | - |
| f"8 | f23 | 0,44 | - |
| f"7 | f24 | 0,46 | - |
| f"7 | f25 | 0,23 | - |
| f'1 | f"1 | 0,45 | f1 f2 |
| f'1 | f"2 | 0,40 | f3 f4 f5 f6 f7 f8 f9 |
| f'1 | f"3 | 0,15 | f10 f11 f12 f13 f14 f15 f16 |
| f'3 | f"7 | 0,53 | f21 f24 f25 |
| f'3 | f"8 | 0,33 | f20 f23 |
| F | f'1 | 0,53 | f"1 f"2 f"3 |
| F | f'2 | 0,29 | f"4(f17) f"5(f18) f"6(f19) |
| F | f'3 | 0,18 | f"7 f"8 f"9(f22) |

Имея эти сведения можем определить наш вектор весовых коэффициентов , получаем М = (0,15; 0,09; 0,02; 0,01; 0,04; 0,03; 0,05; 0,05; 0,01; 0,01; 0,01; 0,02; 0,01; 0,01; 0,01; 0,02; 0,05; 0,12; 0,12; 0,03; 0,03; 0,02; 0,03; 0,04; 0,02).

Зная все необходимые сведения для линейной свертки, найдём наилучшее решение х\*, используя:

Из таблицы 6 видно, что максимум линейной свертке критериев доставляет набор мероприятий х12 и составляет он 6,39, что отличается от решения полученного, в случае, когда мы принимаем гипотезу о том, что все рубли стоят одинаково. Приведем значения вектора MF=(-2,01; 0,85; 5,10; -2,06; 0,54; 4,43; -2,79; 0,71; 5,70; -3,32; 0,79; 6,39; -2,23; 0,57; 4,60) для всех решений. При этом, если бы в модели учитывались только Доходы и Расходы, напрямую связанные с осуществлением мероприятий, мы бы отдали предпочтение решению х6.

# Заключение

Предложенная модель оценки эффективности инвестиций в электросети предлагает новый подход к оценке инвестиционных проектов в сфере электроэнергетики, а в дополнение предлагает способ оценки распределительной сети, что на данный момент практикуется крайне редко, в силу не проработанности вопроса.

В данном методе были объединены положения основных трудов современного научного мира в области принятия решений, дана попытка обосновать невозможность применения положений классической экономической теории для оценки инвестиций субъектов естественных монополий, описаны основные тенденции на данном рынке, оказывающие влияние на ценообразование и произведен обзор документов, задающих правила «игры» в отрасли.

В результате работы были выделены 25 критериев, оказывающих влияние на эффективность инвестиций, определена глобальная цель и два уровня подцелей, по которым осуществлялась оценка эффективности. Автором введено ограничение на масштаб проекта в виде территориальной обособленности. Вопрос соизмеримости показателей решен через их монетизацию, т.е. оценку денежных последствий каждого из критериев.

Результаты полученные в итоге оценки эффективности инвестиций в энергетику согласно данной модели получились значительно отличными от результатов, получаемых при классических расчётах. К сожалению, то, на сколько корректно данная модель покажет себя на практике, будет понятно только по прошествии длительного периода времени, но в отличии от финансовых моделей, основывающихся на индексе рентабельности или сроку окупаемости, показатель эффективности в данном случае, по крайней мере не стремится к бесконечности (например, как бывает со сроком окупаемости) и дает возможность соизмерить различные решения.

Данная работа дает хороший старт для дальнейших исследований, которые могут быть направлены на изменение масштаба оценивания до узла заявитель – мероприятия, т.к. на практике, меньший масштаб представляет больший интерес для краткосрочного планирования. Наличие стратегического плана крайне важен, например, при формировании инвестиционной программы на долгосрочный период регулирования, но для решения локальных проблем, например, формирование бюджета инвестиций общества на год, важней иметь информацию в большей детализации и большей автономности от связанных мероприятий.

# Список цитируемой литературы

1. Распоряжение Правительства РФ от от 13.11.2009г. №1715-р. <https://minenergo.gov.ru/node/1026>
2. Постановление Правительства РФ от 27.12.2014 №861 «Об утверждении правил недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания услуг; …»
3. Савина Н.В., А.Е. Рыбак. Оценка эффективности проведения реконструкции распределителях сетей на примере электросетевого комплекса г.Зеи // Вестник ИрГТУ, 2014. №10(93). С. 215-221.
4. Калугин В.А. Многокритериальная оценка инвестиционных проектов // Вестник ОГУ. 2004. С. 61-64.
5. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1989ю – 316 с.
6. Саати Т. Об измерении неосязаемого. Подход к относительным измерениям на основе главного собственного вектора матрицы парных сравнений // Электронный журнал «Cloud of Science». 2015. Т.2. №1
7. Ногин В.Д. Линейная свертка критериев в многокритериальной оптимизации // Искусственный интеллект и принятие решений, 2014. №4.С 73-82.
8. Ногин В.Д. Принятие решений при многих критериях (учебно-методическое пособие). СПб: Изд-во "Ютас", 2007. 104 с.
9. Ногин В.Д. Определение и общие свойства относительной важности критериев // Процессы управления и устойчивость. — СПб. Изд-во СпбГУ, 1998. — С. 373-381.
10. Ногин В.Д. Принцип Эджворта-Парето и относительная важность критериев в случае нечеткого отношения предпочтения // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2003. Т. 43. №11. С. 1666-1676
11. Хованов Н.В. Анализ и Синтез Показателей при Информационном Дефиците. – СПб.: Издательство С.-Петербургского университета, 1996. – 196 с.
12. Корников В.В., Хованов Н.В., Юдаев М.С. Многокритериальная классификация в условиях дефицита числовой информации // Труды Карельского научного центра РАН. 2012. - №5. С. 38-43.
13. Глотов В.А., Павельев В.В. Экспертные методы определения весовых коэффициентов // Автоматика и телемеханика, 1976. №12. С.95-107.
14. Приказ ФСТ России от 06.08.2004 № 20-э/2 «Об утверждении методических указаний по расчету регулируемых тарифов и цен на электрическую (тепловую) энергию на розничном (потребительском) рынке»
15. Постановление Правительства от 01.01.2002г №1 «О классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы»
16. Приказ Комитета по тарифам и ценовой политике Ленинградской области от 26.12.2017г №648-п «Об установлении платы за технологическое присоединении энергопринимающих устройств потребителей …»
17. Постановление Правительства РФ от 27.12.2014 №861 «Об утверждении правил недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания услуг; …»
18. Ногин В.Д. Упрощённый вариант метода анализа иерархий на основе нелинейной свертки критериев // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2004. Т. 44. №7. С. 1261-1270.
19. Приказ ФСТ России от 17.02.2012 N 98-э (ред. от 24.08.2017) "Об утверждении Методических указаний по расчету тарифов на услуги по передаче электрической энергии, устанавливаемых с применением метода долгосрочной индексации необходимой валовой выручки"
20. Ногин В.Д. Сужение множество Парето: аксиоматический подход. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2016. – 272 с.
21. Филичева Е.В. Модель платы потребителей за электроэнергию // Экономика электроэнергетики. 2001. №4. С. 413-420.

# Приложение 1

В данном опроснике приведено 33 критерия, оказывающих влияние на выбор схемы построения сети на территории ХХХ (МО-1). Для каждого из критериев определена цель, которой он служит. Необходимо определить степень влияния данного критерия на указанную цель по шкале от 1 до 9, где 1 – не оказывает влияния, а 9 – абсолютное влияние. Выбранный уровень влияния отметить крестиком.

1. Как сильно влияют следующие факторы на сокращение затрат на перспективное развитие сети:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Фактор** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| Некачественная проработка технических заданий |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Неучтенные перспективнее нагрузки |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

1. Как сильно влияют следующие факторы на перспективный рост тарифа на передачу электроэнергии:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Фактор** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| Рост потребления ЭЭ существующими потребителями |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Поступление новых заявок на ТП |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Рост НВВ за счет амортизационных отчислений |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

1. Какова влияние источника дохода на прибыль компании:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Фактор** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| Прибыль от платы за ТП |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Прибыль от роста транзита ЭЭ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

1. Каково влияние следующих факторов на сумму основных затрат при осуществлении строительства и реконструкции:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Фактор** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| Стоимость ПИР |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Выполнение ПИР проектным сектором |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Вторичное использования оборудования |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Материалы и оборудования переданный на хозспособ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Плата подрядчику за СМР |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Экономия при выполнении СМР хозспособом |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Расход на ГСМ при хозспособе |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

1. Каково влияние каждого вида прочих расходов на общую стоимость работ:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Фактор** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| Прочие, выполняемые подрядчиком вместе с СМР |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Восстановление асфальтовых и газонных покрытий |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ГНБ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Аренда ЗУ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Покупка ЗУ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Разработка грунтов |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Плата за вырубку лесов |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

1. Каково влияние каждого из следующих факторов на максимизацию перспективных доходов от всех видов деятельности компании:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Фактор** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| Перспективный рост тарифа |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Представительно-рекламные расходы |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Учет СПР при построении схемы  электроснабжения |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

1. На сколько сильно на расходы компании валяют следующие факторы:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Фактор** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| Штрафы за нарушение антимонопольного законодательства (сроки) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Коммерческие потери ЭЭ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Технологические потери ЭЭ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

1. Как сильно на текущий доход компании влияет:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Фактор** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| Прибыль от действующих заявителей |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Основные затраты на осуществление строительства и реконструкции |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Прочие затраты на осуществление строительства и реконструкции |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

1. Как на прибыль от электроснабжения территории влияют следующие факторы:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Фактор** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| Максимизация текущей прибыли  от осуществления мероприятий |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Минимизация расходов, связанных со взаимодействием с потребителями и заявителями |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Максимизация прибыли от перспективного развития территории (СПР) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

1. В соответствии с Федеральным законом от 06.10.2016г №131 «Об общих принципах местного самоуправления в Российской Федерации» [↑](#footnote-ref-1)