

И.В. Ковалев, М.Ф. Иконникова, В.А. Подоппелова

## ФОРМАЛИЗАЦИЯ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ СЕТЕВОЙ GERT-МОДЕЛИ

**Аннотация.** Представлен подход к формализации организационной структуры предприятия на основе сетевой GERT-модели, что позволит обеспечить планирование времени лица, принимающего решение, при заданных критериях и массивах данных, необходимых для принятия решения. В качестве объекта исследования рассматривается процесс принятия решения о согласовании первичной потребности под закупку на предприятии. Представленная в нотации EPC-модель процесса «согласовать потребность под закупку» преобразована в GERT-сеть. Дано описание процедуры преобразования. Выявлена возможность преобразования GERT-сети под исполнителей функций с целью дальнейшей реструктуризации организационной структуры бизнес-процесса. Представлены результаты расчета полученной GERT-сети с учетом особенностей рассмотренного бизнес-процесса. Предложенные эквивалентные преобразования GERT-сети обеспечивают возможность автоматизации моделирования и, следовательно, позволяют выполнить эффективную реорганизацию организационной структуры предприятия.

**Ключевые слова:** ERP, GERT-сети, бизнес-процесс, трансляция, модель, лицо, принимающее решение (ЛПР).

I.V. Kovalev, M.F. Ikonnikova, V.A. Podoplelova

## FORMALIZING THE ORGANIZATIONAL STRUCTURE OF AN ON THE BASIS OF THE GERT-NETWORK MODEL

**Abstract.** The article presents an approach to formalizing the organizational structure of an enterprise based on the GERT-network model, which will ensure the planning of the time of the decision maker, given the criteria and data arrays necessary for making a decision. As an object of study, the process of making a decision on the coordination of primary needs for purchase at an enterprise is considered. The “reconcile purchase requirement” process model presented in the EPC notation has been transformed into a GERT network. The description of the conversion procedure is given. The possibility of transforming the GERT-network for function performers with the aim of further restructuring the organizational structure of the business process is revealed. The results of the calculation of the obtained GERT-network are presented, taking into account the features of the considered business process. The proposed equivalent transformations of the GERT network provide the possibility of modeling automation and, therefore, allow you to perform an effective reorganization of the organizational structure of the enterprise.

**Keywords:** ERP, GERT networks, business process, translation, model, decision maker (DM).

### *Введение*

Высокая конкуренция на рынке товаров и услуг является залогом общего развития всех бизнесов в целом, включая современные предприятия различных отраслей промышленности. При этом очевидно, что сегодня эффективное управление предприятием без использования цифровых технологий и процессного подхода уже невозможно [1; 2]. Большие масштабы современных предприятий, которые часто имеют распределенную кластерную структуру, вызывают необходимость на основе системного подхода [3–5] использовать современные средства формализации для моделирования бизнес-процессов с целью избежать несогласованных действий лиц, принимающих решения (далее – ЛПР), и нарушения

**Ковалев Игорь Владимирович**

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информатики, Сибирский федеральный университет; профессор кафедры системного анализа и исследования операций, Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева; профессор кафедры информационных технологий и математического обеспечения информационных систем, Красноярский государственные аграрный университет, город Красноярск. Сфера научных интересов: математическое моделирование, системный анализ, управление, GERT-сети, стохастические сети. Автор более 400 опубликованных научных работ.

Электронный адрес: kovalev.fsu@mail.ru

**Иконникова Мария Федоровна**

аспирант, старший преподаватель кафедры информатики и вычислительной техники, Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, город Красноярск. Сфера научных интересов: моделирование, GERT-сети, стохастические сети, бизнес-процессы, СППР. Автор более 10 опубликованных научных работ.

Электронный адрес: mk\_6f@bk.ru

**Подоплелова Валерия Анатольевна**

аспирант, Красноярский государственный аграрный университет, город Красноярск; старший преподаватель, Сочинский государственный университет, город Сочи. Сфера научных интересов: системный анализ, GERT-сети, стохастические сети, сбалансированные транспортные сети. Автор более 10 опубликованных научных работ.

Электронный адрес: podoplelovava@mail.ru

взаимодействия структурных подразделений и подсистем их информационной поддержки. При масштабировании бизнеса и усложнении организационной структуры предприятий появляются новые задачи в рамках внедрения цифровых технологий и автоматизации бизнес-процессов. Эти задачи часто связаны с прогнозированием деятельности компании [6].

В частности в подразделениях компании, отвечающих за закупочную деятельность, специалист способен дать прогноз времени, которое необходимо на закупку товара или услуг, исходя из своего опыта. Но при наличии множества факторов, влияющих на этот прогноз, данная задача с каждым днем становится все более сложной, что в конечном итоге может привести к ошибочным результатам или к чрезмерно большим затратам времени и человеческих ресурсов.

Более того, в закупочной деятельности существует множество критериев и данных, которые должны учитываться лицами, принимающими решение, и которые специалист не способен анализировать быстро в режиме реального времени. Формализация организационной структуры предприятия на основе сетевой GERT-модели [7; 8] позволит обеспечить планирование времени ЛПР при заданных критериях и массивах данных, необходимых для принятия решения. Предлагаемый подход формализации организационной структуры предприятия на основе сетевого GERT-моделирования позволит определить, с какой вероятностью критерий для принятия решения будет достигнут ЛПР и за какое время [9].

*Материалы и метод исследования*

В данной статье рассматривается процесс принятия решения о согласовании первичной потребности под закупку (далее – ПЗ) и в качестве материала для исследования рас-

сматривается описание бизнес-процесса «согласовать первичную потребность под закупку», формализация которого в дальнейшем выполняется на основе сетевого GERT-моделирования.

Отметим, что формирование первичной потребности является первым шагом для процесса закупки материально-технических ресурсов (далее – МТР) [10–12]. Как правило, потребность формируется не только для какой-то одной позиции, а в целом по всему классу МТР в рамках запросов предприятия и его структурных подразделений (отделов, групп и др.). Например, компания может объявить сбор потребностей по предприятию на класс МТР, в частности рабочая одежда и обувь. Структурные подразделения заполняют шаблон о необходимости приобретения материалов. После формирования потребности закупщик формирует общий документ в информационно-управляющей системе (далее – ИУС) предприятия. На данном этапе важно определить вид потребности и способ финансирования (например, с какого счета будет оплачена данная потребность). Это необходимо для определения будущей стратегии согласования ПЗ, то есть для выбора лиц, принимающих решение по данной закупке.

В процессе формирования закупки определяются следующие ее основные параметры документа: код МТР (заведенный заранее в справочнике для возможности дальнейшего использования), необходимое количество МТР под закупку, плановый срок поставки, срок вовлечения в производство, плановая цена с указанием источника базовой стоимости МТР на дату заполнения потребности, грузополучатель (склад, на который будет отправлен МТР) и др. После заполнения всех необходимых данных документ передается на согласование.

В нашей постановке задачи определяются три согласующих специалиста – ЛПР, каждый из которых принимает решение в рамках своей зоны ответственности. Для принятия решения о согласовании или не согласовании ЛПР необходимо оценить ряд параметров закупки, и если они соответствуют требованиям, то ЛПР принимает решение о согласовании документа.

Первый согласующий проверяет соответствие описания МТР в ИУС с описанием, представленным в сформированной потребности МТР. Также этот ЛПР проверяет корректность указанной начальной максимальной цены (далее – НМЦ) в данный момент времени и будет ли она актуальной в период торгов. Также в зону ответственности первого согласующего входит обязанность убедиться в том, что для реализации МТР соблюдены условия для возможности их реализации на предприятии (например, выбран правильный тип обуви для специалистов, в которой в дальнейшем предполагается выполнять работы).

Второй согласующий проверяет, входит ли данная потребность в производственную необходимость, а также указанный срок поставки на соответствие дате вовлечения МТР в производство. Также он определяет наличие свободных средств из финансирования под данную потребность.

Третий согласующий проверяет возможность принять товар, то есть наличие свободного места для приема потребности на склад, а также выполняет проверку на наличие или отсутствия МТР на своих складах. Если МТР есть на складе, то требуется уточнить, свободны ли МТР для эксплуатации или зарезервированы под производство. Если есть свободный запас под реализацию, согласующий переводит данную потребность из закупки в вовлечение МТР в производство, тем самым он не согласовывает данный документ. Если МТР на складах не найдены, то ЛПР согласовывает потребность.

Когда все ЛПР приняли решение о согласовании потребности, то по ней формируется заявка на торги, где потенциальные поставщики предлагают свои цены и условия постав-

Формализация организационной структуры предприятия на основе сетевой GERT-модели

ки под эту закупку. Данный этап не входит в рамки данной статьи, так как рассматривается только процесс принятия решения о согласовании первичной потребности под закупку.

На Рисунке 1 в нотации ЕРС представлена модель процесса «Согласовать потребность под закупку».

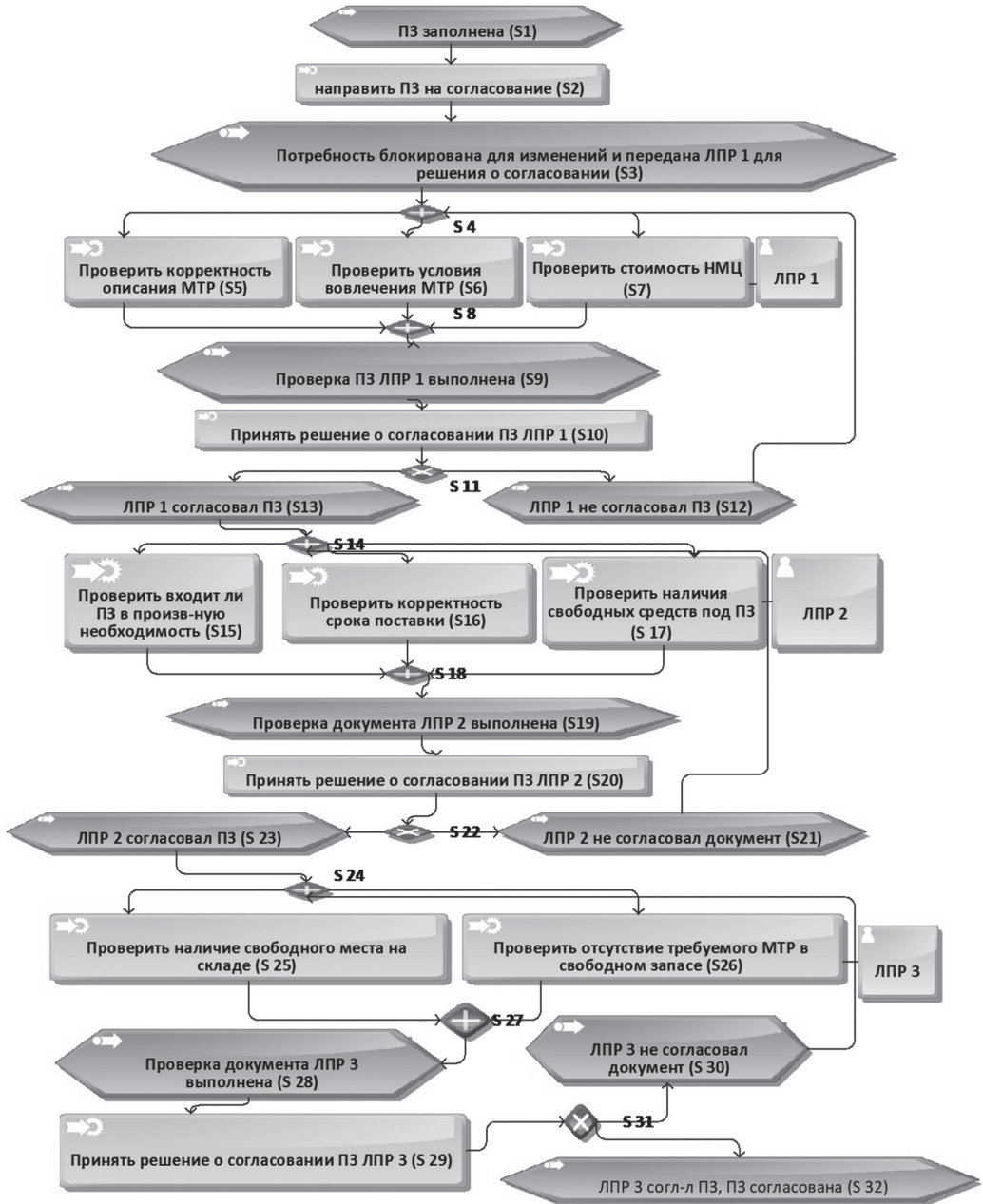


Рисунок 1. Модель ЕРС для процесса «согласовать потребность под закупку»

## Результаты исследования

**Процедура преобразования ЕРС в GERT-сеть.** Сопоставление модели ЕРС и GERT-сети для данного бизнес-процесса выполним на основе процедуры трансляции модели бизнес-процесса в модель GERT-сети, рассмотренной в [7]. В Таблице 1 сопоставлены элементы ЕРС- и GERT-сети, а также указаны исполнители по объектам ЕРС-модели. Первые три объекта ЕРС являются стартовыми событиями и в процессе согласования ПЗ занимают время 0 часов.

Далее необходимо указать параметры дуг GERT-сети. В качестве параметра выступает время, затраченное на выполнение дуги. Дуга представляет собой связь двух узлов GERT-сети [13]. Для упрощения записи введем индекс  $k$ , который будет заменять индексы  $\langle i, j \rangle$  во всех характеристиках GERT-сети в данной работе.

Параметр  $p_{ij}$  – это условная вероятность выполнения дуги  $\langle i, j \rangle$  при активации узла  $i$ . Вероятность имеет распределение от 0 до 1.

Таблица 1

Сопоставление объектов моделей

Исполнитель объекта ЕРС-модели	Объект ЕРС-модели	Тип объекта ЕРС-модели	Узел GERT-сети	Тип узла GERT-сети
–	S1	Событие	V1	STEOR
–	S2	Процесс	V2	STEOR
–	S3	Событие	V3	STEOR
ЛПР 1	S4	Перекресток	V4	[EOR, DT]
ЛПР 1	S5	Процесс	V5	STEOR
ЛПР 1	S6	Процесс	V6	STEOR
ЛПР 1	S7	Процесс	V7	STEOR
ЛПР 1	S8	Перекресток	V8	[AND, ST]
ЛПР 1	S9	Событие	V9	STEOR
ЛПР 1	S10	Процесс	V10	STEOR
ЛПР 1	S11	Перекресток	V11	STEOR
ЛПР 1	S12	Событие	V12	STEOR
ЛПР 1	S13	Событие	V13	STEOR
ЛПР 2	S14	Перекресток	V14	[EOR, DT]
ЛПР 2	S15	Процесс	V15	STEOR
ЛПР 2	S16	Процесс	V16	STEOR
ЛПР 2	S17	Процесс	V17	STEOR
ЛПР 2	S18	Перекресток	V18	[AND, ST]
ЛПР 2	S19	Событие	V18	STEOR
ЛПР 2	S20	Процесс	V20	STEOR
ЛПР 2	S21	Событие	V21	STEOR
ЛПР 2	S22	Перекресток	V22	STEOR
ЛПР 2	S23	Событие	V23	STEOR

Окончание Таблицы 1

Исполнитель объекта ЕРС-модели	Объект ЕРС-модели	Тип объекта ЕРС-модели	Узел GERT-сети	Тип узла GERT-сети
ЛПР 3	S24	Перекресток	V24	[EOR, DT]
ЛПР 3	S25	Процесс	V25	STEOR
ЛПР 3	S26	Процесс	V26	STEOR
ЛПР 3	S27	Перекресток	V27	[AND, ST]
ЛПР 3	S28	Событие	V28	STEOR
ЛПР 3	S29	Процесс	V29	STEOR
ЛПР 3	S30	Событие	V30	STEOR
ЛПР 3	S31	Перекресток	V31	STEOR
ЛПР 3	S32	Событие	V32	STEOR

Производящую функцию моментов  $M_k(S)$  для нормального распределение считаем по формуле  $e^{sm} + (1/2)S^2\sigma^2$ . Но если случайная величина  $Y_{ij}$  равна постоянной величине, то  $M_k(S) = E[e^{sa}] = e^{sa}$ .  $W$ -функция перехода от узла  $i$  к  $j$  в GERT-сети определяется как  $W_k(S) = p_k M_k(S)$  [14].

Для дальнейшей возможности расчета математического ожидания и дисперсии времени согласования потребности под закупку введем дугу  $\langle V32, V1 \rangle$ , которая будет замыкающей для GERT-сети [15]. Характеристики операций GERT-сети указаны в Таблице 2, а полученная GERT-сеть представлена на Рисунке 2.

Таблица 2

Характеристики операций GERT-сети

Дуга $\langle i, j \rangle$	$W_k$	$p_k$	Параметр времени, ч	$M_k(S)$
$\langle V1, V2 \rangle$	$W_1$	1	$a = 0$	1
$\langle V2, V3 \rangle$	$W_2$	1	$a = 0$	1
$\langle V3, V4 \rangle$	$W_3$	1	$a = 0$	1
$\langle V4, V5 \rangle$	$W_4$	1	$a = 0$	1
$\langle V4, V6 \rangle$	$W_5$	1	$a = 0$	1
$\langle V4, V7 \rangle$	$W_6$	1	$a = 0$	1
$\langle V5, V8 \rangle$	$W_7$	1	$m = 0,5 \sigma = 0,2$	$e \left[ 0,5s + \frac{1}{2}(0,04)s^2 \right]$
$\langle V6, V8 \rangle$	$W_8$	1	$m = 0,6 \sigma = 0,1$	$e \left[ 0,6s + \frac{1}{2}(0,01)s^2 \right]$
$\langle V7, V8 \rangle$	$W_9$	1	$m = 0,5 \sigma = 0,1$	$e \left[ 0,5s + \frac{1}{2}(0,01)s^2 \right]$

Продолжение Таблицы 2

Дуга $\langle i, j \rangle$	$W_k$	$p_k$	Параметр времени, ч	$M_k(S)$
$\langle V 8, V 9 \rangle$	$W_{10}$	1	$a = 0$	1
$\langle V 9, V 10 \rangle$	$W_{11}$	1	$a = 0$	1
$\langle V 10, V 11 \rangle$	$W_{12}$	1	$a = 0,1$	$e(0,1s)$
$\langle V 11, V 12 \rangle$	$W_{13}$	0,05	$a = 0,1$	$e(0,1s)$
$\langle V 12, V 4 \rangle$	$W_{14}$	1	$a = 0$	1
$\langle V 11, V 13 \rangle$	$W_{15}$	0,95	$a = 0,1$	$e(0,1s)$
$\langle V 13, V 14 \rangle$	$W_{16}$	1	$a = 0$	1
$\langle V 14, V 15 \rangle$	$W_{17}$	1	$a = 0$	1
$\langle V 14, V 16 \rangle$	$W_{18}$	1	$a = 0$	1
$\langle V 14, V 17 \rangle$	$W_{19}$	1	$a = 0$	1
$\langle V 15, V 18 \rangle$	$W_{20}$	1	$m = 0,5 \sigma = 0,3$	$e \left[ 0,5s + \frac{1}{2}(0,09)s^2 \right]$
$\langle V 16, V 18 \rangle$	$W_{21}$	1	$m = 0,7 \sigma = 0,2$	$e \left[ 0,7s + \frac{1}{2}(0,04)s^2 \right]$
$\langle V 17, V 18 \rangle$	$W_{22}$	1	$m = 0,8 \sigma = 0,1$	$e \left[ 0,8s + \frac{1}{2}(0,01)s^2 \right]$
$\langle V 18, V 19 \rangle$	$W_{23}$	1	$a = 0$	1
$\langle V 19, V 20 \rangle$	$W_{24}$	1	$a = 0$	1
$\langle V 20, V 22 \rangle$	$W_{25}$	1	$a = 0,1$	$e(0,1s)$
$\langle V 22, V 21 \rangle$	$W_{26}$	0,12	$a = 0,1$	$e(0,1s)$
$\langle V 21, V 14 \rangle$		1	$a = 0$	1
$\langle V 22, V 23 \rangle$	$W_{28}$	0,88	$a = 0,1$	$e(0,1s)$
$\langle V 23, V 24 \rangle$	$W_{29}$	1	$a = 0$	1
$\langle V 24, V 25 \rangle$	$W_{30}$	1	$a = 0$	1
$\langle V 24, V 26 \rangle$	$W_{31}$	1	$a = 0$	1
$\langle V 25, V 27 \rangle$	$W_{32}$	1	$m = 0,9 \sigma = 0,2$	$e \left[ 0,9s + \frac{1}{2}(0,04)s^2 \right]$
$\langle V 26, V 27 \rangle$	$W_{33}$	1	$m = 1,1 \sigma = 0,1$	$e \left[ 1,1s + \frac{1}{2}(0,01)s^2 \right]$
$\langle V 27, V 28 \rangle$	$W_{34}$	1	$a = 0$	1



Окончание Таблицы 2

Дуга $\langle i, j \rangle$	$W_k$	$p_k$	Параметр времени, ч	$M_k(S)$
$\langle V 28, V 29 \rangle$	$W_{35}$	1	$a = 0$	1
$\langle V 29, V 31 \rangle$	$W_{36}$	1	$a = 0,1$	$e(0,1s)$
$\langle V 31, V 30 \rangle$	$W_{37}$	0,2	$a = 0,1$	$e(0,1s)$
$\langle V 30, V 24 \rangle$	$W_{38}$	1	$a = 0$	1
$\langle V 31, V 32 \rangle$	$W_{39}$	0,8	$a = 0,1$	$e(0,1s)$
$\langle V 32, V 1 \rangle$	$W_A$	1	$a = 0$	1

**Расчет показателей GERT-сети.** Для расчета топологического уравнения необходимо определить коэффициенты пропускания петель первого, второго и третьего порядка.

Петли первого порядка:

$$\begin{aligned} & (W_4 W_7 + W_5 W_8 + W_6 W_9) W_{10} W_{11} W_{12} W_{13} W_{14}; \\ & (W_{17} W_{20} + W_{18} W_{21} + W_{19} W_{22}) W_{23} W_{24} W_{25} W_{26} W_{27}; \\ & (W_{30} W_{32} + W_{31} W_{33}) W_{34} W_{35} W_{36} W_{37} W_{38}; \\ & W_1 W_2 W_3 (W_4 W_7 + W_5 W_8 + W_6 W_9) W_{10} W_{11} W_{12} W_{13} W_{14} \times \\ & \times (W_{17} W_{20} + W_{18} W_{21} + W_{19} W_{22}) W_{23} W_{24} W_{25} W_{28} W_{29} \times \\ & \times (W_{30} W_{32} + W_{31} W_{33}) W_{34} W_{35} W_{36} W_{39} (1/W_k). \end{aligned}$$

Петли второго порядка:

$$\begin{aligned} & (W_4 W_7 + W_5 W_8 + W_6 W_9) W_{10} W_{11} W_{12} W_{13} W_{14} \times \\ & \times (W_{17} W_{20} + W_{18} W_{21} + W_{19} W_{22}) W_{23} W_{24} W_{25} W_{26} W_{27}; \\ & (W_{17} W_{20} + W_{18} W_{21} + W_{19} W_{22}) W_{23} W_{24} W_{25} W_{26} W_{27} \times \\ & \times (W_{30} W_{32} + W_{31} W_{33}) W_{34} W_{35} W_{36} W_{37} W_{38}; \\ & (W_4 W_7 + W_5 W_8 + W_6 W_9) W_{10} W_{11} W_{12} W_{13} W_{14} \times \\ & \times (W_{30} W_{32} + W_{31} W_{33}) W_{34} W_{35} W_{36} W_{37} W_{38}. \end{aligned}$$

Петли третьего порядка:

$$\begin{aligned} & (W_4 W_7 + W_5 W_8 + W_6 W_9) W_{10} W_{11} W_{12} W_{13} W_{14} \times \\ & \times (W_{17} W_{20} + W_{18} W_{21} + W_{19} W_{22}) W_{23} W_{24} W_{25} W_{26} W_{27} \times \\ & \times (W_{30} W_{32} + W_{31} W_{33}) W_{34} W_{35} W_{36} W_{37} W_{38}. \end{aligned}$$

Петель выше третьего порядка в данной GERT-сети нет.



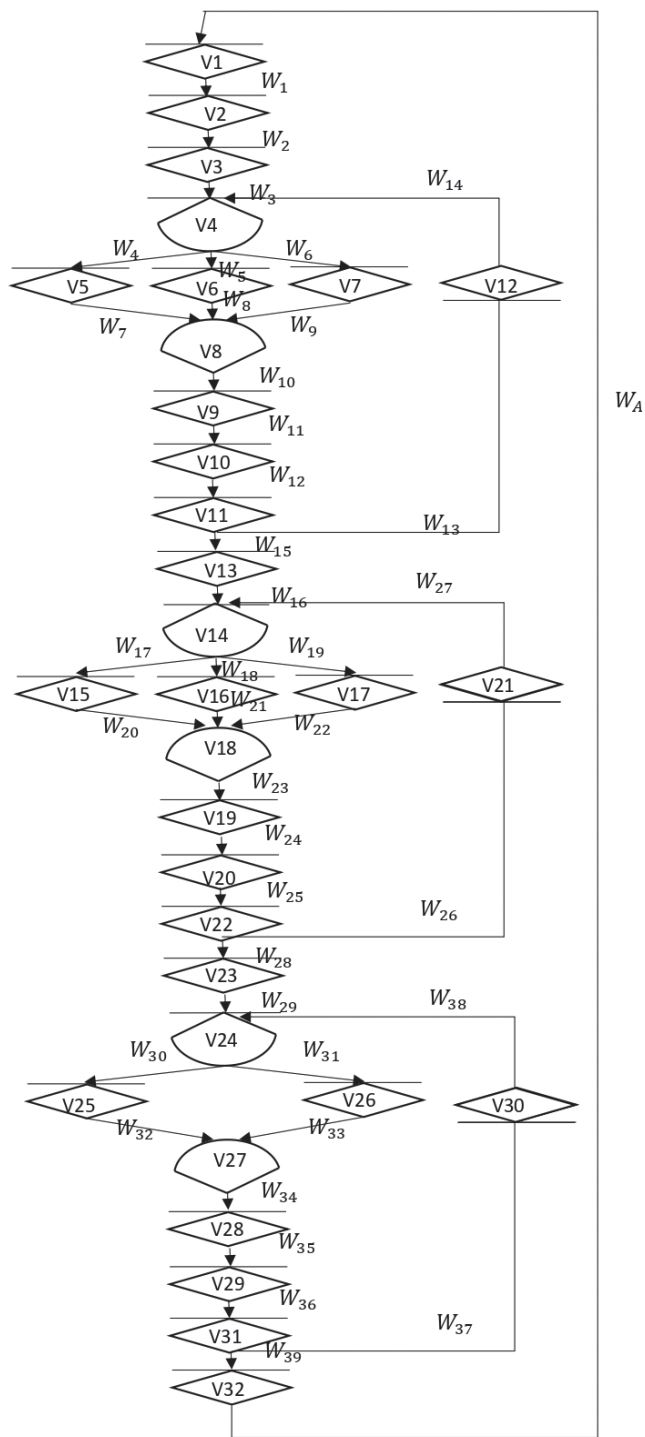


Рисунок 2. GERT-сеть подпроцесса «Согласовать потребность под закупку»

Формализация организационной структуры предприятия на основе сетевой GERT-модели

Запишем топологическое уравнение по правилу Мейсона со значениями исследуемой GERT-сети:

$$\begin{aligned}
 H = & 1 - (W_4W_7 + W_5W_8 + W_6W_9)W_{10}W_{11}W_{12}W_{13}W_{14} - (W_{17}W_{20} + W_{18}W_{21} + W_{19}W_{22}) \times \\
 & \times W_{23}W_{24}W_{25}W_{26}W_{27} - (W_{30}W_{32} + W_{31}W_{33})W_{34}W_{35}W_{36}W_{37}W_{38} - W_1W_2W_3 \times \\
 & \times (W_4W_7 + W_5W_8 + W_6W_9)W_{10}W_{11}W_{13}W_{14} \times (W_{17}W_{20} + W_{18}W_{21} + W_{19}W_{22}) \times \\
 & \times W_{23}W_{24}W_{25}W_{28}W_{29} (W_{30}W_{32} + W_{31}W_{33})W_{34}W_{35}W_{36}W_{39} (1/W_k) + \\
 & + (W_4W_7 + W_5W_8 + W_6W_9)W_{10}W_{11}W_{12}W_{13}W_{14} \times (W_{17}W_{20} + W_{18}W_{21} + W_{19}W_{22}) \times \\
 & \times W_{23}W_{24}W_{25}W_{26}W_{27} + (W_{17}W_{20} + W_{18}W_{21} + W_{19}W_{22})W_{23}W_{24}W_{25}W_{26}W_{27} \times \\
 & \times (W_{30}W_{32} + W_{31}W_{33})W_{34}W_{35}W_{36}W_{37}W_{38} + (W_4W_7 + W_5W_8 + W_6W_9)W_{10}W_{11}W_{12}W_{13}W_{14} \times \\
 & \times (W_{30}W_{32} + W_{31}W_{33})W_{34}W_{35}W_{36}W_{37}W_{38} - (W_4W_7 + W_5W_8 + W_6W_9) \times \\
 & \times W_{10}W_{11}W_{12}W_{13}W_{14} (W_{17}W_{20} + W_{18}W_{21} + W_{19}W_{22})W_{23}W_{24}W_{25}W_{26}W_{27} \times \\
 & \times (W_{30}W_{32} + W_{31}W_{33})W_{34}W_{35}W_{36}W_{37}W_{38} = 0.
 \end{aligned}$$

Далее преобразуем уравнение относительно  $W_k(s)$ :

$$\begin{aligned}
 W_k(s) = & W_1W_2W_3(W_4W_7 + W_5W_8 + W_6W_9)W_{10}W_{11}W_{12}W_{13}W_{14} (W_{17}W_{20} + W_{18}W_{21} + W_{19}W_{22}) \times \\
 & \times W_{23}W_{24}W_{25}W_{28}W_{29} (W_{30}W_{32} + W_{31}W_{33})W_{34}W_{35}W_{36}W_{39} / (1 - (W_4W_7 + W_5W_8 + W_6W_9) \times \\
 & \times W_{10}W_{11}W_{12}W_{13}W_{14} - (W_{17}W_{20} + W_{18}W_{21} + W_{19}W_{22})W_{23}W_{24}W_{25}W_{26}W_{27} - \\
 & - (W_{30}W_{32} + W_{31}W_{33})W_{34}W_{35}W_{36}W_{37}W_{38} + (W_4W_7 + W_5W_8 + W_6W_9)W_{10}W_{11}W_{12}W_{13}W_{14} \times \\
 & \times (W_{17}W_{20} + W_{18}W_{21} + W_{19}W_{22})W_{23}W_{24}W_{25}W_{26}W_{27} + (W_{17}W_{20} + W_{18}W_{21} + W_{19}W_{22}) \times \\
 & \times W_{23}W_{24}W_{25}W_{26}W_{27} (W_{30}W_{32} + W_{31}W_{33})W_{34}W_{35}W_{36}W_{37}W_{38} + (W_4W_7 + W_5W_8 + W_6W_9) \times \\
 & \times W_{10}W_{11}W_{12}W_{13}W_{14} (W_{30}W_{32} + W_{31}W_{33})W_{34}W_{35}W_{36}W_{37}W_{38} - (W_4W_7 + W_5W_8 + W_6W_9) \times \\
 & \times W_{10}W_{11}W_{12}W_{13}W_{14} (W_{17}W_{20} + W_{18}W_{21} + W_{19}W_{22})W_{23}W_{24}W_{25}W_{26}W_{27} \times \\
 & \times (W_{30}W_{32} + W_{31}W_{33}) \times W_{34}W_{35}W_{36}W_{37}W_{38}.
 \end{aligned}$$

Подставим соответствующие значения произведения вероятностей и  $M_k(S)$  из Таблицы 2 для получения  $W_k(s)$ . Для удобства запишем сразу преобразованное уравнение:

$$\begin{aligned}
 W_k(s) = & 0,6688e(6,2S + 0,125S^2) / (1 - 0,05e(1,8S + 0,03S^2) - \\
 & - 0,12e(2,2S + 0,07S^2) - 0,2e(2,2S + 0,025S^2) + 0,006e(4S + 0,1S^2) + \\
 & + 0,024e(4,4S + 0,095S^2) + 0,01e(4S + 0,055S^2) - 0,0012e(6,2S + 0,125S^2)).
 \end{aligned}$$

Далее, вычислив математическое ожидание и дисперсию, а также первую и вторую частные производные по функции  $S = 0$ , получим следующие результаты:

$$\mu_{1k} = 7,144 ; \mu_{2k} = 53,774 ; \sigma^2 = 2,727 .$$

Таким образом, на основании формализации процесса принятия решения о согласовании первичной потребности под закупку в организационной структуре предприятия в

виде сетевой GERT-модели получен результат, определяющий временные характеристики данного процесса: согласование потребности под закупку будет закончено за время  $\mu_k = 7,144$  ч с возможным разбросом времени  $\sigma^2 = 2,727$  ч.

#### *Заключение и выводы*

Отметим, что особенность данного бизнес-процесса заключается в том, что выполняли данный процесс три ЛПР, между которыми четко распределены этапы в процессе согласования. При неудовлетворительных результатах, которые получены с помощью преобразования GERT-сети, есть возможность быстрого моделирования возможной реорганизации организационной структуры предприятия с итеративным повторением этапов моделирования. Предложенный подход к формализации организационной структуры также будет полезен при оценке временных характеристик реализации процесса в случае автоматизации получения и обработки данных для ЛПР на различных этапах в ИУС предприятия. Это обеспечит сокращение сроков на согласование документов ЛПР при дальнейшей автоматизации. Более того, предложенный подход позволит правильно определить уязвимые участки в рамках бизнес-процесса, для которых нужна автоматизация для эффективного развития организационной структуры предприятия.

При помощи формальных методов преобразования бизнес-процесса в GERT-сеть рассчитываются вероятности выполнения работ за определенное время. Данный подход является актуальным, так как бизнес-процессы имеют достаточно сложную структуру, в которой добавление или исключение шагов бизнес-процесса могут существенно изменить трудозатраты по времени. Важно, что при помощи GERT-сети учитываются случайные отклонения и неопределенности, возникающие при выполнении работ. Именно это имеет существенное значение для планирования трудозатрат и поиска уязвимых мест в структуре организационной системы.

#### *Литература*

1. Дубровина О.А., Пахомова О.А. Возможности применения процессного подхода в управлении предприятием // *Фундаментальные исследования*. 2018. № 12-2. С. 250–254 DOI: 10.17513/fg.42385
2. Павлова Н.С. Системный, процессный, стоимостной подходы в оптимизации организационных структур предприятий // *Вестник Удмуртского университета. Серия: Экономика и право*. 2008. № 1. С. 39–46.
3. Шангина Е.И., Кормышев В.М. Системный подход к анализу бизнес-процессов на предприятии с использованием методов ABC, ABV, ABM // *Цифровые модели и решения*. 2022. Т. 1, № 3. С. 87–104. DOI: 10.29141/2782-4934-2022-1-3-7
4. Пацук Е.Б. Основные тенденции развития системного анализа управления проектами и бизнес-процессами // *Инновационная наука*. 2016. № 12-2. С. 94–95.
5. Баринов, Ю.Г., Баринова, Г.В. Об эффективности системного анализа организационных систем // *Вестник Псковского государственного университета. Серия: Экономика. Право. Управление*. 2013. № 2. С. 7–13. (дата обращения: 17.04.2023).
6. Алябьева М.В. Повышение эффективности функционирования промышленного предприятия за счет совершенствования бизнес-процессов: монография. М.: Русайнс, 2021. 179 с.
7. Зырянов А.А., Доррер М.Г. Трансляция модели бизнес-процессов в нотации ARIS eEPC в GERT-сеть // *Труды XI Международной конференции «ФАМЭБ-2012»*. Красноярск: НИИППБ, СФУ, 2012. С. 186–192.

## Формализация организационной структуры предприятия на основе сетевой GERT-модели

8. Зырянов А.А. Методика вероятностного прогнозирования состояния организационно-технологических систем при помощи формализмов GERT-сетей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06, 2013. 21 с.
9. Tsepikova M.I. (2019) Time characteristics assessment of performance of information processing system using modified GERT-network. *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, Vol. 1353, No. 1, P. 012106.
10. Иконин А.А. Особенности организации закупочной деятельности // Вестник науки и образования. 2019. № 12-1 (66). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-organizatsii-zakupochnoy-deyatelnosti> (дата обращения: 09.03.2023).
11. Rane S.B., Narvel Y.A.M., Bhandarkar B.M. (2020) Developing strategies to improve agility in the project procurement management (PPM) process: Perspective of business intelligence (BI). *Business Process Management Journal*, 2020, Vol. 26, No. 1, Pp. 257–286.
12. Hallikas J., Immonen M., Brax S. (2021) Digitalizing procurement: the impact of data analytics on supply chain performance. *Supply Chain Management*, 2021, No. 26, Pp. 629–646.
13. Zhang N. A (2023) GERT Network Model for input-output optimization of general aviation industry chain based on value flow. *Computers & Industrial Engineering*, 2023, Vol. 176, P. 108945.
14. Zhigeng F. (2021) ADC-GERT network parameter estimation model for mission effectiveness of joint operation system. *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 2021, Vol. 32, No. 6, Pp. 1394–1406.
15. Wang H.-H., Zhu J.-J., Yao Y.-C. (2019) GERT network optimization with consideration of “time resource” on large aircraft collaborative development. *Control and Decision*, 2019, No. 34, Pp. 309–316.

## Literature

1. Dubrovina O.A., Pakhomova O.A. (2018) [Possibilities of applying a process approach in enterprise management]. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2018, No. 12-2, Pp. 250–254. DOI: 10.17513/fr.42385 (in Russian).
2. Pavlova N.S. (2008) [System, process, cost-based approaches in optimizing organizational structures of enterprises]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya: Jekonomika i pravo*, 2008, No. 1, Pp. 39–4 (in Russian).
3. Shangina E.I., Kormyshev V.M. (2022) [System approach to business process analysis in an enterprise using ABC, ABB, ABM methods]. *Cifrovye modeli i resheniya*, 2022, Vol. 1, No. 3, Pp. 87–104. DOI: 10.29141/2782-4934-2022-1-3-7 (in Russian).
4. Pacuk E.B. (2016) [Major trends in the development of system analysis in project and business process management]. *Innovacionnaja nauka*, No. 12-2. Pp. 94–95 (in Russian).
5. Barinov Y.G., Barinova G.V. (2013) [On the effectiveness of system analysis of organizational systems]. *Vestnik Pskovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Jekonomika. Pravo. Upravlenie*, 2013, No. 2, Pp. 7–13 (in Russian).
6. Alyabieva M.V. (2021) *Povyshenie jeffektivnosti funkcionirovanija promyshlennogo predpriyatija za schet sovershenstvovaniya biznes-processov* [Improving the efficiency of the functioning of an industrial enterprise by improving business processes: monograph]. Moscow: Rusains Publishing, 179 p. (in Russian).
7. Zyryanov A.A., Dorrer M.G. (2012) *Transljacija modeli biznes-processov v notacii ARIS eEPC v GERT-set: Trudy XI Mezhdunarodnoj FAMJeB'2012 konferencii. Krasnojarsk: NIIPPB, SFU* [Translation of business process model in ARIS eEPC notation into GERT network: Proceedings of the XI International FAMEB'2012 Conference. Krasnojarsk: NIIPPB, SFU. Pp. 186–192 (in Russian)].

8. Zyryanov A.A. (2013) *Metodika verojatnostnogo prognozirovanija sostojanija organizacionno-tehnologicheskikh sistem pri pomoshhi formalizmov GERT-setej: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk* [Method for probabilistic forecasting of the state of organizational and technological systems using GERT network formalisms: abstract of dissertation for the degree of candidate of technical sciences]: 05.13.06, 2013. 21 p. (in Russian).
9. Tsepikova M.I. (2019) Time characteristics assessment of performance of information processing system using modified GERT-network. *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, Vol. 1353, No. 1, P. 012106.
10. Iconin A.A. (2019) [Features of organizing procurement activities]. *Vestnik nauki i obrazovanija*, No. 12-1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-organizatsii-zakupочноy-deyatelnosti> (accessed: March 9, 2023) (in Russian).
11. Rane S.B., Narvel Y.A.M., Bhandarkar B.M. (2020) Developing strategies to improve agility in the project procurement management (PPM) process: Perspective of business intelligence (BI). *Business Process Management Journal*, 2020, Vol. 26, No. 1, Pp. 257–286.
12. Hallikas J., Immonen M., Brax S. (2021) Digitalizing procurement: the impact of data analytics on supply chain performance. *Supply Chain Management*, 2021, No. 26, Pp. 629–646.
13. Zhang N. A (2023) GERT Network Model for input-output optimization of general aviation industry chain based on value flow. *Computers & Industrial Engineering*, 2023, Vol. 176, P. 108945.
14. Zhigeng F. (2021) ADC-GERT network parameter estimation model for mission effectiveness of joint operation system. *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 2021, Vol. 32, No. 6, Pp. 1394–1406.
15. Wang H.-H., Zhu J.-J., Yao Y.-C. (2019) GERT network optimization with consideration of “time resource” on large aircraft collaborative development. *Control and Decision*, 2019, No. 34, Pp. 309–316.