

## ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СТРАТЕГИИ НЕФТЕГАЗОВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

А.М.Шаммазов<sup>1</sup>, И.А.Шаммазов<sup>1</sup>, И.Р.Байков<sup>2</sup>, О.В.Смородова<sup>\*2</sup>, С.В.Китаев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ухтинский государственный технический университет, Ухта, Россия;

<sup>2</sup>Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

### Optimization of the Oil and Gas Companies Energy Strategy

A.M.Shammazov<sup>1</sup>, I.A.Shammazov<sup>1</sup>, I.R.Baikov<sup>2</sup>, O.V.Smorodova<sup>2</sup>, S.V.Kitaev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ukhta State Technical University, Ukhta, Russia;

<sup>2</sup>Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

#### Abstract

The paper considers ways to optimize contractual relations with grid companies for the supply of energy sources. At present, the most common form of relations between suppliers and consumers of resources causes penalty payments not only with increased energy consumption, but also with reduced values of resource consumption. Analysis of operational data showed that almost half of all equipment failures occurs without the appearance of any characteristic trends. It is extremely difficult to predict interruptions in the energy consumption of the corresponding equipment by parametric methods. Taking into account the probabilistic nature of the work and failures of the pumping and power equipment of oil and gas enterprises, the use of game theoretic methods is most expedient for forecasting the volumes of energy consumption.

#### Keywords:

Maximin; Minimax;  
Matrix of winnings;  
Strategy; Degree of risk;  
Savage, Valda, Hurwitz  
criteria.

© 2018 «OilGasScientificResearchProject» Institute. All rights reserved.

Вынужденный простой оборудования вследствие ремонтных работ вызывает штрафные санкции поставщиков энергоресурсов, предусмотренные договорной политикой взаимоотношений. В условиях вероятностного наступления отказа технологического оборудования предприятий нефтегазовой отрасли задача максимально точного прогнозирования объемов потребления топливно-энергетических ресурсов представляется весьма актуальной [1].

Анализ функции отказов оборудования показал, что около 43 % аварийных отказов наступает внезапно [2]. Предсказать даже оценочно предполагаемое количество таких аварий достаточно сложно. При наступлении внезапных отказов возникает отличие фактического потребления энергии от предусмотренного договором на поставку:

$$\Delta P = \pm (P_{\text{факт}} - P_{\text{план}})$$

где  $P_{\text{факт}}$  - фактическое энергопотребление;

$P_{\text{план}}$  - предусмотренное договорными отношениями.

В случае, когда  $\Delta P$  превышает допустимую величину, отпуск ресурса начинает производиться

по повышенной тарифной ставке.

На практике объем потребления энергии на реализацию технологического процесса нефтедобывающего предприятия является стохастической величиной [3]. Функция распределения такой величины определяется технологическими и природно-климатическими факторами. Количественный и качественный контроль многих влияющих факторов, как правило, весьма затруднителен, вплоть до невозможности реализации (рис.1).

Задача минимизации оплаты неизбежных отклонений от договорных объемов энергопотребления сводится к поиску оптимальных значений поставок энергоресурса, предусматриваемого договором на снабжение.

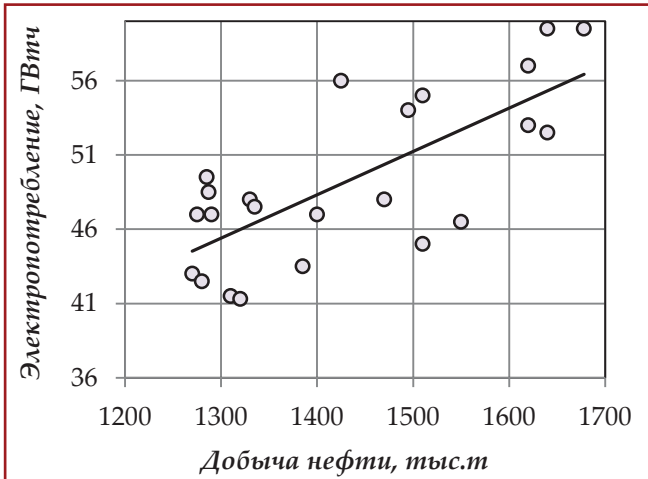
Среди многих видов отказов технологического оборудования, ряд аварий являются абсолютно непредсказуемыми:

- повреждения силового кабеля или ПЭД,
- отказы НКТ,
- обрыв колонны штанг и пр.

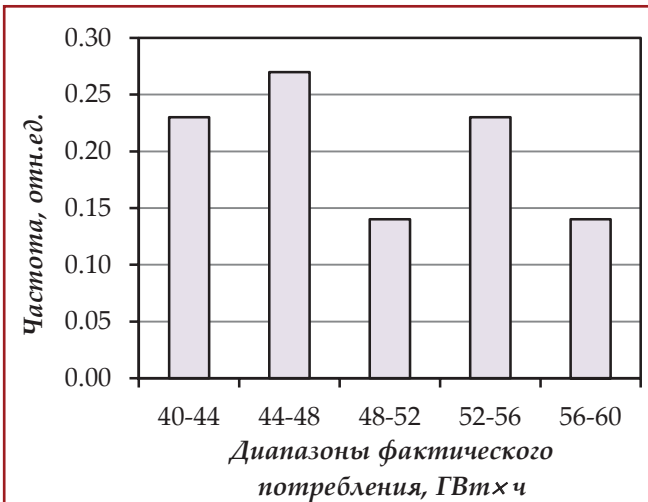
В таких условиях обоснованное планирование объемов электропотребления максимально перспективным представляется в формате игровых методов [4].

\*E-mail: [olga\\_smorodova@mail.ru](mailto:olga_smorodova@mail.ru)

<http://dx.doi.org/10.5510/OGP20180400373>



**Рис.1. Взаимосвязь технологических и энергетических показателей процесса добычи нефти нефтегазового промысла**



**Рис.2. Фактическое потребление электроэнергии одного из НГДУ**

	$B_1$	...	$B_n$
$A_1$	$S_{11}$	...	$S_{1n}$
...	...	$S_{ij}$	...
$A_m$	$S_{m1}$	...	$S_{mn}$

	$P_1$	...	$P_n$
$P_{01}$	$S_{11}$	...	$S_{1n}$
...	...	$S_{ij}$	...
$P_{0m}$	$S_{m1}$	...	$S_{mn}$

а) условия игры      б) матрица выигрышей

**Рис.3. Матричная постановка задачи о минимизации затрат на электроэнергию**

Пусть предполагаемый объем потребления электроэнергии составляет  $P_0$  кВт×ч в месяц. Как правило, штрафной тариф на отпуск электроэнергии возникает как при превышении потребления, так и при пониженном расходе энергоносителя. Если фактический расход энергии составит  $P$ , тогда условия заключения договора на поставку носителя формализованно примут вид:

$$S = \begin{cases} \alpha P_0 & \text{при } P = P_0 \\ \alpha P_0 + (P - P_0)\alpha_1 & \text{при } P_0 < P < P_{\text{lim}} \\ \alpha P_0 + (P - P_0)K\alpha & \text{при } P > P_{\text{lim}} \\ \alpha P + (P_0 - P)\alpha_2 & \text{при } P < P_0 \end{cases} \quad (1)$$

где  $S$  – финансовые затраты потребителя энергии;  $\alpha$  – базовый тариф;  $P_{\text{lim}}$  – определенная договором граница, ниже которой тариф составляет  $\alpha_1$  ( $\alpha_1 > \alpha$ ), а выше  $K\alpha$  – (при значительном превышении энергопотребления);  $\alpha_2$  – повышенный тариф за неустойку.

При заключении договора на поставку электроэнергии задачей является такая формализация договорных условий, которая приведет к минимизации финансовых расходов предприятия на оплату электроэнергии, т.е.  $S \rightarrow \min$ .

Для повышения надежности обеспечения технологического оборудования электроэнергией потребитель вынужденно завышает свою потребность в энергии. Кроме того, как правило, оплата за перерасход энергии существенно превышает оплату неустойки за неиспользование лимита.

Условия упрощенного варианта заключения договора на поставку электроэнергии имеют вид

$$S = \begin{cases} \alpha P_0 & \text{при } P \leq P_0 \\ \alpha P_0 + (P - P_0)K\alpha_1 & \text{при } P > P_0 \end{cases} \quad (2)$$

В соответствии с функцией распределения фактического потребления энергии  $f(P)$ , функция затрат примет вид [5]

$$S(P_0) = \alpha P_0 + K\alpha \int_{P_0}^{P_{\text{max}}} (P - P_0)f(P)dP \quad (3)$$

где  $P_{\text{max}}$  – наибольшая величина фактического ресурсопотребления. На практике величина  $P_{\text{max}}$  имеет конечное значение.

На рисунке 2 видно, что фактическое потребление электроэнергии описывается равномерным законом распределения.

Таким образом, при  $P_{\text{min}} < P < P_{\text{max}}$  будет  $f(P) = 1 \setminus (P_{\text{max}} - P_{\text{min}})$ . Тогда на основании уравнения (3) получим:

$$S(P_0) = \alpha P_0 + \frac{K\alpha}{(P_{\text{max}} - P_{\text{min}})} \int_{P_0}^{P_{\text{max}}} (P - P_0)dP = \alpha P_0 + \frac{1}{2} K\alpha \frac{(P_{\text{max}} - P_0)^2}{(P_{\text{max}} - P_{\text{min}})} \quad (4)$$

Определение экстремального значения функции (4) позволяет получить соотношение для оценки оптимальной договорной величины энергопотребления:

$$P_0 = P_{\text{max}} - \frac{P_{\text{max}} - P_{\text{min}}}{K} \quad (5)$$

На практике, как правило, вид функции  $F(P)$  не установлен, а формулировка договорных условий на поставку носителя определена уравнением (1). В таком случае одним из способов решения поставленной задачи является применение основных положений теории игр [6].

Пусть имеются два игрока:  $A$  - нефтедобывающее предприятие и  $B$  - энергоснабжающая организация [7]. Каждый игрок может принять только одно решение из ограниченного множества возможных. Например, для игрока  $A$  это будут  $A_i (1 \leq i \leq m)$ , а для игрока  $B$   $B_j (1 \leq j \leq n)$ . Дискретность заказа определяется дискретностью отсчета прибора учета электроэнергии.

Целью реализации алгоритма является разработка такой стратегии для  $A_i$ , которая определит максимальную выгоду [8]. Условия игры запишем в форме матрицы размера  $n \times m$  (рис.3а).

Наиболее выгодная стратегия игрока  $A$  в таком случае определяется из условия максимина:  $A_0 = \max_i \{ \min_j \{ S_{ij} \} \}$ .

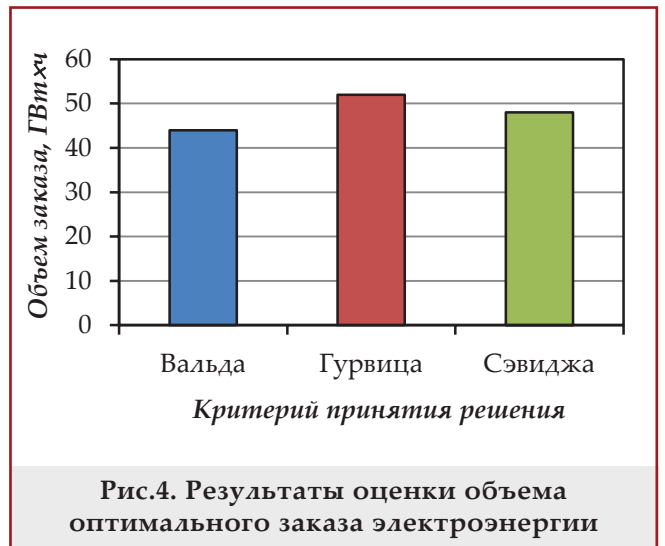
Матрица выигрышей формируется следующим способом. Весь диапазон возможных договорных значений  $P_0$  разобьем на  $m$  интервалов. Для каждого интервала определим среднее значение  $P_{0i}, 1 \leq i \leq m$ .

Весь диапазон фактического потребления энергии разобьем на  $n$  интервалов. Для каждого интервала определим среднее значение  $P_j, 1 < j < n$ .

В матричной форме рисунка 3б приведены значения  $S_{ij}$  - месячные затраты, которые определены по условиям (1) при  $P = P_j$  и  $P_0 = P_{0i}$ . Оптимальному договорному объему энергопотребления соответствует строка матричной формы с минимальным значением  $S_{ij}$  (вне зависимости от столбца).

Достоинством игровых методов является та их особенность, что даже при неизвестном распределении величины  $P_i$  имеется возможность идентификации решения с минимальными издержками для потребителя. Для этого рекомендуется использование критериев Вальда, Сэвиджа, Гурвица (табл.1).

Наличие сведений по потреблению электроэнергии за предыдущий период позволяет существенно приблизить принимаемое решение к оптимальному [9]. Известная вероятность фактической потребности в энергии позволяет разработать комбинированную стратегию постав-



щика энергии. Выбор той или иной стратегии поставщиком электроэнергии напрямую связан с успешностью ее реализации в предыдущих периодах эксплуатации оборудования. Таким образом, при наличии сведений по энергопотреблению предприятием в предыдущие периоды, оптимальная стратегия определяется из соотношения:

$$P_{0i} = \sum_{j=1}^{ni} Q_j S_{ij} \rightarrow \min \quad (6)$$

На рисунке 2 приведены сведения по энергопотреблению в зависимости от объема добычи одного из НГДУ ежемесячно в разрезе 2 лет. Видно, что однозначная связь между этими величинами не установлена, значение достоверности линии тренда фактическим данным в смысле дисперсии адекватности составляет чуть более 0.5 ( $R_2 = 0.544$ ). В этом случае следует пользоваться вероятностными характеристиками потребности предприятия в электроэнергии [10].

Матрица платежей  $S_{ij}$  (табл. 2) была получена расчетом по формуле (1) с учетом исходных данных:

- $\alpha = 1.0$  руб/кВт\*ч;
- $\alpha_1 = \alpha_2 = 1.5$  руб/кВт\*ч;
- $K = 10$ ;
- $P_{lim} = 1.2P_0$ .

Критерии Вальда, Гурвица и Сэвиджа рекомендуют следующие стратегии:

Таблица 1			
Формирование энергетической стратегии предприятия методами теории игр			
№	Наименование критерия	Тип стратегии	Расчет объема заказа энергии
1	Вальда	антагонистическая игра	$P_{0i} = \max_i \{ \min_j \{ S_{ij} \} \}$
2	Сэвиджа	крайний пессимизм	$P_{0i} = \max_i \{ \min_j \{ r_{ij} \} \}$ , где $r_{ij} = \max_j \{ S_{ij} \} - S_{ij}$
3	Гурвица	«коэффициент пессимизма» $\chi \in [0, 1]$	$P_{0i} = \max_j \{ \chi \min_i \{ S_{ij} \} + (1 - \chi) \max_i \{ S_{ij} \} \}$
3.1	$\chi = 0$	крайний оптимизм	максимальный выигрыш
3.2	$\chi = 1$	крайний пессимизм	аналог критерия Вальда

- по критерию Вальда  $P_0 = \min_i\{\max_j\{S_{ij}\}\} - 52$  ГВт×ч;
- по критерию Гурвица при  $\chi = 0$  («крайний оптимизм») - 40 ГВт×ч;
- по критерию Сэвиджа  $P_{0i} = \min_i\{\max_j\{r_{ij}\}\} - 52$  ГВт×ч.

В таблице 3 приведены значения рисков, вычисленные по данным таблицы 1 в соответствии с выражением:  $r_{ij} = \max_j\{S_{ij}\} - S_{ij}$ .

Имеется возможность уточнить стратегию потребителя учетом вероятности фактического

электропотребления на определенном уровне - вычислить произведения  $Q_j S_{ij}$  (табл. 4).

Сравнение прогнозных объемов электропотребления, идентифицируемых критериями Вальда, Гурвица и Сэвиджа в качестве оптимальных, представлено на рисунке 4.

Апробация предложенного метода на ряде объектов нефтегазодобычи показала увеличение точности прогноза энергопотребления на 15-20 %, снижая до минимума штрафные платежи.

**Таблица 2**  
**Матричная форма платежей (без учета вероятностных характеристик энергопотребления)**

$P_{oi} \setminus P$	40	44	48	52	56	$\max_i S_{ij}$
40	35.7	154.8	273.8	392.9	511.9	511.9
44	65.5	47.6	166.7	285.7	404.8	404.8
48	95.2	76.2	59.5	178.6	297.6	297.6
52	125.0	107.1	89.3	71.4	89.3	125.0
56	154.8	136.9	119.0	101.2	83.3	154.8

**Таблица 3**  
**Матричная форма рисков (без учета вероятностных характеристик энергопотребления)**

$P_{oi} \setminus P$	40	44	48	52	56	$\max_i r_{ij}$
40	476.2	357.1	238.1	119.0	0	476.2
44	339.3	357.2	238.1	119.1	0	357.2
48	202.4	221.4	238.1	119.0	0	238.1
52	0	17.9	35.7	536.0	35.7	53.6
56	0	17.9	35.7	53.6	71.5	71.5

**Таблица 4**  
**Матричная форма для принятия решения (с учетом вероятностных характеристик электропотребления)**

$P_{oi} \setminus P$	40	44	48	52	56	Сумма	40	44	48	52	56	$\max_i r_{ij}$
40	17.1	33.2	65.6	11.7	20.4	148.0	131.1	114.8	82.4	136.3	127.8	136.3
44	31.2	10.3	40.1	8.7	16.3	106.6	75.1	95.8	66.0	97.4	89.8	97.4
48	45.1	16.3	14.1	5.5	11.8	92.8	48.1	76.7	78.8	87.7	81.4	87.7
52	59.2	23.1	21.2	2.0	3.5	109.0	50.1	86.5	88.1	107.4	106.1	107.4
56	73.4	29.3	28.6	3.1	3.6	138.0	64.3	108.4	109.2	134.8	134.7	134.8
<i>а) матрица платежей</i>							<i>б) матрица рисков</i>					

### Выводы

Использование основных положений теории игр обоснованно прогнозирует объемы поставки электроэнергии. Учет вероятностного характера работы технологического оборудования позволяет повысить достоверность решения.

Оснащение технологических установок измерительными системами с автоматизированным управлением позволит при разработке энергетической стратегии предприятия учитывать многие дополнительные количественные критерии эксплуатации. Достижение минимальных затрат на оплату энергетических ресурсов позволит снизить себестоимость продукции нефтегазового предприятия и увеличить коммерческую прибыль.

**Литература**

1. Р.Н.Бахтизин, Р.М.Каримов, Б.Н.Мастобаев. Обобщенная кривая течения и универсальная реологическая модель нефти //SOCAR Proceedings. – 2016. – №2. – С.43-49.
2. Б.В.Гнеденко, Ю.К.Беляев, А.Д.Соловьев. Математические методы в теории надежности. – М.: URSS, 2017.
3. Р.Н.Бахтизин, Ф.М.Мустафин, Л.И.Быков и др. Сооружение и эксплуатация трубопроводов. Инновации и приоритеты //SOCAR Proceedings. – 2016. – №3. – С.52-58.
4. А.А.Васин, В.В.Морозов. Теория игр и модели математической экономики. – М.: Макс-Пресс, 2005.
5. Исследование операций: в 2 томах: пер. с англ. /под ред. Дж.Моудера, С.Элмаграби. –М.: Мир, 1981.
6. В.И.Данилов. Лекции по теории игр. – М.: Российская экономическая школа, 2002.
7. D.Fundenberg, J. Tirole. Game theory. – Cambridge, Mass.: MIT-Press, 1996.
8. R.Amir. Cournot oligopoly and the theory of supermodular games //Games and Economic Behavior. – 1996. – Vol.15. – P.132-148.
9. D.Moreno, L.Ubeda. Capacity precommitment and price competition yield Cournot outcomes. Universidad Crlos 3 de Madrid, Economic Series, 2001, 08 WP 01-44.
10. G. Myles. Public Economics. – Cambridge, 1996.

**References**

1. R.N.Bakhtizin, R.M.Karimov, B.N.Mastobaev. The general form of the flow curve of oil and universal rheological model //SOCAR Proceedings. – 2016. – No.2. – P.43-49.
2. B.V.Gnedenko, Yu.K.Belyayev, A.D.Solovyev. Mathematical methods of reliability theory. – М.: URSS, 2017.
3. R.N.Bakhtizin, F.M.Mustafin, L.I.Bykov, et al. Construction and operation of pipelines. Innovations and priorities // SOCAR Proceedings. – 2016. – No.3. – P.52-58.
4. A.A.Vasin, V.V.Morozov. Game theory and models of the mathematical economics. - М.: MAKSS Pressecc, 2005.
5. Handbook of operations research: in 2 volumes: /ed. J.J. Moder, S.E. Elmaghraby. –NY: Van Nostrand Reinhold, 1978.
6. V.I.Danilov. Lectures on game theory. – М.: Russian economic school, 2002.
7. D.Fundenberg, J. Tirole. Game theory. – Cambridge, Mass.: MIT-Press, 1996.
8. R.Amir. Cournot oligopoly and the theory of supermodular games //Games and Economic Behavior. – 1996. – Vol.15. – P.132-148.
9. D.Moreno, L.Ubeda. Capacity precommitment and price competition yield Cournot outcomes. Universidad Crlos 3 de Madrid, Economic Series, 2001, 08 WP 01-44.
10. G. Myles. Public Economics. – Cambridge, 1996.

**Оптимизация энергетической стратегии нефтегазового предприятия**

**А.М.Шаммазов<sup>1</sup>, И.А.Шаммазов<sup>1</sup>, И.Р.Байков<sup>2</sup>, О.В.Смородова<sup>2</sup>, С.В.Китаев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Ухтинский государственный технический университет, Ухта, Россия;

<sup>2</sup>Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

**Реферат**

В работе рассмотрены способы оптимизации договорных отношений с сетевыми компаниями на поставку энергоносителей. В настоящее время наиболее распространенная форма отношений поставщиков и потребителей ресурсов вызывает штрафные платежи не только при повышенном энергопотреблении, но и при пониженных значениях потребления ресурсов. Анализ эксплуатационных сведений показал, что почти половина всех отказов оборудования происходит без проявления каких-либо характерных трендов. Спрогнозировать перерывы в энергопотреблении соответствующего оборудования параметрическими методами крайне затруднительно. Учитывая вероятностный характер работы и отказов насосно-силового оборудования нефтегазовых предприятий, для прогнозирования объемов энергопотребления наиболее целесообразно применение теоретико-игровых методов.

**Ключевые слова:** максимин, минимакс, критерии Сэвиджа, Вальда, Гурвица, стратегия, степень риска, матрица выигрышей.

**Neftqaz müəssisəsinin enerji strategiyasının optimallaşdırılması**

**A.M.Şammazov<sup>1</sup>, İ.A.Şammazov<sup>1</sup>, İ.R.Baykov<sup>2</sup>, O.V.Smorodova<sup>2</sup>, S.V.Kitayev<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Uxta Dövlət Texniki Universiteti, Uxta, Rusiya;

<sup>2</sup>Ufa Dövlət Neft Texniki Universiteti, Ufa, Rusiya

**Xülasə**

Məqalədə enerji daşıyıcıların təchizatı ilə məşğul olan şəbəkə şirkətləri ilə müqavilə əlaqələrinin optimallaşdırılması üsullarına baxılmışdır. Hal-hazırda resurs təchizatçıları və istehlakçıları arasındakı münasibətlər çox vaxt yalnız yüksək enerji istehlakı deyil, resursların aşağı istehlakı zamanı da cərimə ödənişlərinə səbəb olur. İstismar məlumatlarının təhlili göstərmişdir ki, avadanlığın imtinalarının təxminən yarısı xarakterik trend təzahürləri olmadan baş verir. Müvafiq avadanlığın enerji istehlakındakı fasilələrini parametrik metodlarla proqnozlaşdırmaq olduqca çətindir. Neftqaz müəssisələrinin nasos güc avadanlığının ehtimal olunan işləmə xarakterini və imtinalarını nəzərə alaraq, enerji istehlakı həcmlərinin proqnozlaşdırılması üçün nəzəri-oyun üsullarından istifadə etmək daha məqsədəuyğundur.

**Açar sözlər:** maksimin, minimaks, Sevinc, Vald, Qurvits meyarları, strategiya, risk dərəcəsi, uduş matrisası.