

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 69.003.13:

С. М. ЧЕКАРДОВСКИЙ, канд. техн. наук, доц. кафедры транспорта углеводородных ресурсов; **И. А. ЧЕКАРДОВСКАЯ**, канд. техн. наук, доц. кафедры транспорта углеводородных ресурсов; **М. Н. ЧЕКАРДОВСКИЙ**, д-р техн. наук, проф. кафедры инженерных систем и сооружений; **И. Ю. ШАЛАГИН**, канд. техн. наук, доц. кафедры инженерных систем и сооружений

МЕТОД И АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОБСЛУЖИВАНИЯ СИСТЕМ ТГВ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ С ПОМОЩЬЮ «ЗОЛОТОГО КВАДРАТА»

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»

Россия, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38. Тел.: (3452) 28-39-40;

эл. почта: misha.tchekardovskij@yandex.ru.

Ключевые слова: обслуживание инженерных систем и сооружений, выручка и расходы, планирование в условиях цифровизации, нелинейные зависимости организационно-экономических показателей.

Определена и описана актуальность проблемы достоверного планирования деятельности инженерных систем и сооружений в области обслуживания потребителей в условиях цифровизации с помощью совершенствованной методики «золотого квадрата». Предложен метод расчета экономических показателей, определен подход к определению безубыточности деятельности предприятия с помощью принципов «золотого сечения и прямоугольника» и правил математики для построения «золотого квадрата».

Техническое обслуживание инженерных систем и сооружений теплогазоснабжения, вентиляции, кондиционирование воздуха (ТГВ), водоснабжения и канализации (ВК), нефтегазопромысловых и др. невозможно без создания достоверного проекта их жизненного цикла. Поэтому необходимо использовать известные методы (например, закон Меткалфа) и (или) метод определения «мертвой точки», которые должны обеспечить безубыточную деятельность проектируемого предприятия.

Согласно закона Б. Меткалфа, профессора Техасского университета, полезность сети пропорциональна квадрату числа ее пользователей. Развитие сетей напрямую связано с законом Мура [1], из которого следует, что производительность компьютеров и технических устройств может удваивается каждые 18 месяцев. Тогда можно предположить, что это скорее не закон, а эмпирическое правило.

Первоначально планировалось удвоение производительности раз в год. Однако после дальнейших проверок этот период был увеличен до двух лет. Можно отметить, что Закон Меткалфа зависит от закона Мура в двух отношениях. В ожидании большей пропускной способности сетей, дешевых услуг на рынке предлагаются более полезные приложения, соответственно, затраты на оборудование и эксплуатацию снижаются.

На рис. 1 [1] показана пропорциональная зависимость полезности сети от квадрата количества подключенных к ней устройств.

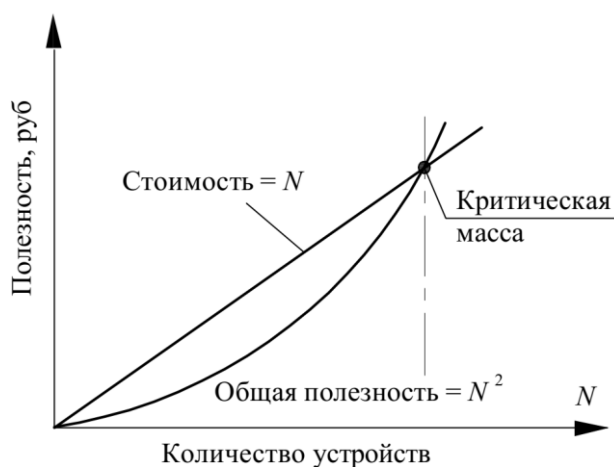


Рис. 1. Полезность сети от количества подключенных к ней устройств

Небольшой объем сети, соответствующий увеличению ее стоимости, сразу же делает сомнительной ее полезность. Увеличение же сети влечет за собой рост объема информации, тогда можно рассматривать рост полезности без препятствий. Можно записать, что общая полезность сети пропорциональна квадрату числа общающихся устройств. Общий вид графиков по [1] (рис. 1) и [2] (рис. 2) показывают свою сходимость и требуют дальнейшего анализа.

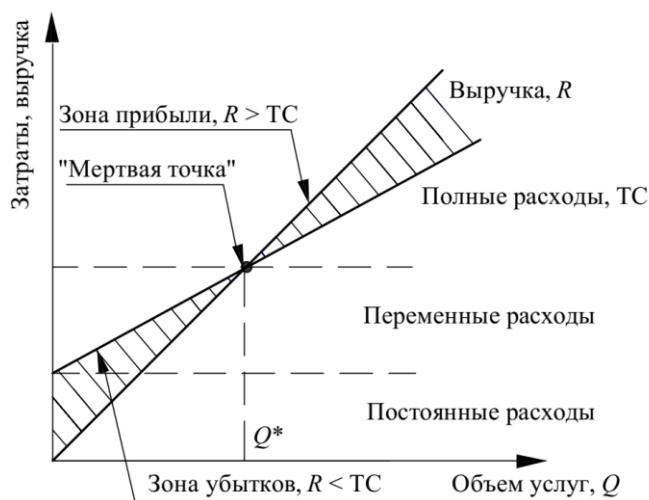


Рис. 2. Графическое определение уровня безубыточности

На рис. 2 авторами приведены полные затраты (расходы) и выручка на этапе проектирования инженерных систем ТГВ и ВК. Графическое изображение основано на предположении об их прямо пропорциональной зависимости, однако такое утверждение носит весьма условный характер. Исследования показывают,

что зависимость носит нелинейную форму, значит, график может быть трансформирован таким образом, как показано на рис. 3.

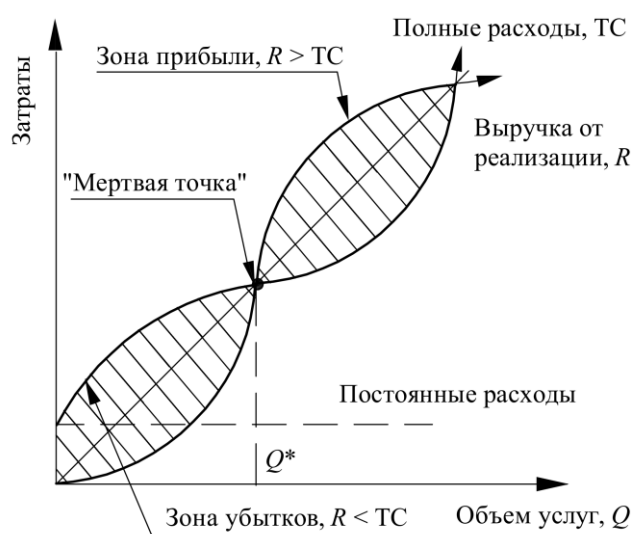


Рис. 3. Графики нелинейной зависимости показателей

Данная графическая зависимость показывает, что прибыль (выручка) не является неограниченной. При достижении некоторого объема обслуживаемого оборудования после «мертвой точки» (рис. 3) или устройств точка «критической массы» (рис. 1), дальнейшее увеличение становится экономически неэффективным, потому что требуется дополнительная реконструкция или модернизация системы обслуживания. С логической точки зрения такое поведение анализируемых показателей вполне реально.

Практическое построение кривых затруднено, поскольку требует тщательного разделения затрат по видам (рис. 3) или устройствам (рис. 1).

Важнейшим этапом планирования в условиях цифровизации является расчет целесообразных и реальных темпов развития организации, придерживаясь «золотой середины». Найти ее формализованными методами с большой точностью практически невозможно, можно дать лишь направление для исследований. Используем для этого принцип «золотого сечения» отрезка и «золотого прямоугольника» [3] для построения «золотого квадрата» с делением сторон по принципу «золотого сечения».

На рис. 4 показано геометрическое построение при делении отрезка прямой в пропорции «золотого сечения», когда $BC = 1/2 AB$; $CD = BC$;

$$AB : AE = AE : BE, \text{ откуда } AE = (\sqrt{5} - 1) \times AB / 2 \approx 0,618 AB.$$

Не менее важным этапом планирования объема услуг по обслуживанию оборудования системы ТГВ и ВК является разработка новых или совершенствованных методов и алгоритмов определения эффективных показателей. Для их определения необходимо выполнить анализ безубыточности и рентабельности услуг по обслуживанию исследуемого оборудования. Суть анализа заключается в определении для каждой конкретной ситуации объема оказываемых услуг, обеспечивающих безубыточную деятельность.

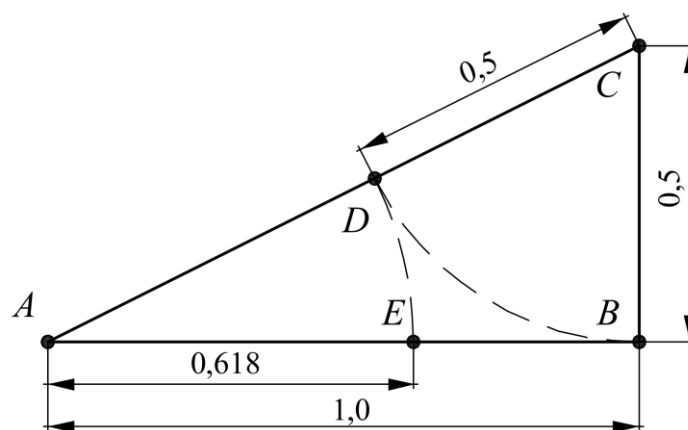


Рис. 4. Деление отрезка прямой АВ в пропорции «золотого сечения»

Пример построения прямоугольника в пропорции «золотого сечения» приведен авторами на рис. 5.

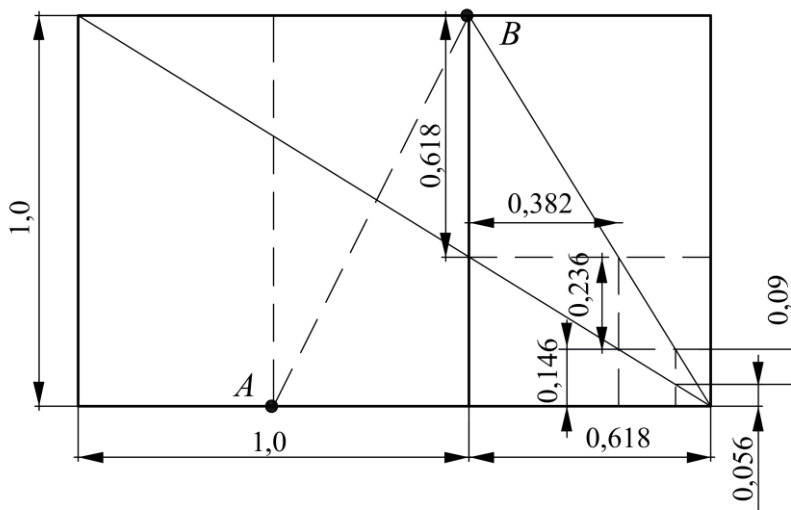


Рис. 5. Построение прямоугольника в пропорции «золотого сечения»

Производственная деятельность обслуживающей организации сопровождается затратами различного вида (прямые и косвенные). Прямые затраты относятся на себестоимость непосредственно, а косвенные – распределяются по видам оказываемых услуг в зависимости от принятой на предприятии методики. Для оценки эффективности обслуживающей организации оборудования инженерных систем и сооружений разработана следующая методика, в которой использован принцип «золотого квадрата».

1. Построим квадрат $ABCD$ со сторонами в относительных единицах (о. е.) $AB = CD = BC = AD = 1$ или в абсолютных единицах (а. е.) $AB = CD = BC = AD = 16$ (рис. 6) в масштабе $M 1:1,6$.

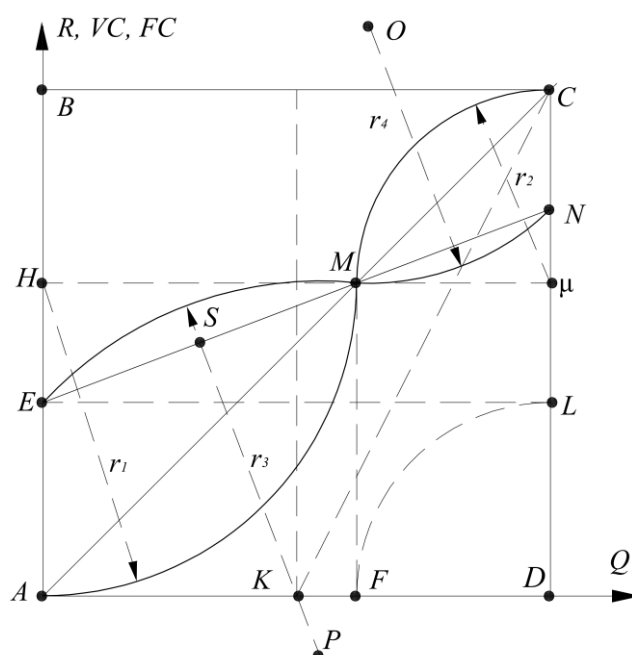


Рис. 6. Графическое определение экономических показателей эффективности организации производства

2. Поделим сторону AD пополам и получим отрезок:

$AK = KD = AD / 2 = 0,5$ (о. е.) или $AK = KD = AD / 2 = 16 / 2 = 8$ см (а. е.). Соединяя точки K и C , получим прямоугольный треугольник KCD , у которого $CD : CL = CL : LD$, откуда

$CL = (\sqrt{5} - 1) / 2 \approx 0,618$; $LD \approx 0,382$ (о. е.) или $CL = 9,888$ см; $LD = 6,112$ см (а. е.).

3. Из точки D отложим отрезок $FD = LD = 6,112$ см ($0,382$ о. е.) на прямой AD и отмечаем точку F . Согласно правилу «золотого сечения», $AF = 0,618$ (о. е.); $FD = 0,382$ (о. е.) или $AF = 9,888$ см., $FD = 6,112$ см. (а. е.).

4. Из точки A отложим отрезок $AE = LD = 6,112$ см ($0,382$ о. е.) на прямой AB и отмечаем точку E . Соединим точку L с точкой E и получаем линию LE . Соединим точку A с точкой C и получим прямоугольный треугольник ACD .

5. Из точки F проведем прямую линию до пересечения с прямой AC . Точку пересечения обозначим буквой M . Принимаем линию AB за ось ординат (“ y ”), которая характеризует величину выручки и затрат в (о. е.) и (а. е.) в результате оказания объема услуг оборудования, а ось AD – это ось абсцисс (“ x ”), которая характеризует объем услуг (рис. 3) или количество устройств (рис. 1).

6. Точка M характеризует точку безубыточности. Через эту точку провели прямую параллельную линии LE и обозначили точки пересечения с осью ординат (AB) точкой H , а с линией CD – точкой μ . Соединив их, получили линию $H\mu$.

7. Через точку E и точку M до пересечения с линией CD провели линию EN .

8. Из точки H радиусом $r_1 = AH$ проводим дугу и соединяем точку A с точкой M (точка безубыточности или «мертвая точка»). Из точки μ дугой радиусом $r_2 = \mu C$ соединили точку C с точкой M , получаем кривую AMC .

9. Построение радиуса r_3 : из середины прямой EM восстановим перпендикуляр и отложим на нем отрезок $SP = EM$. Расстояние от точки P до



точки E является радиусом r_3 , который соединяет точки E и M дугой EM . Радиус r_4 строился аналогично для прямой MN . Согласно свойствам прямоугольного треугольника KMS , радиус $r_3 = 1,118 EM$. Аналогично $r_4 = 1,118 MN$. Дугой радиусом $r_3 = PM$ соединим точку E с точкой M (точка безубыточности). Соединив точку M с точкой N дугой радиусом $r_4 = OM$, получим кривую EMN .

Таким образом, авторы получили линии, характеризующие следующие показатели в точке C : CD – выручка (R), CN – прибыль (Π), NL – переменные расходы (VC), LD – постоянные расходы (FC). Линия LE – график изменения постоянных расходов; линии EN и EMN – графики изменения полных расходов; линии AC и AMC – графики изменения выручки; точка M – точка безубыточности. Вышеуказанные графики представляют собой прямо пропорциональную и криволинейную зависимости полных расходов ($VC + FC$) и выручки (R) в зависимости от объема (Q) услуг или объема реализации продукции.

Результаты проведенного авторами графоаналитическим методом анализа экономических показателей обслуживаемых систем ТГВ и ВК представлены в табл. 1 (для первоначальных условий $AB = DC = 16$ см (а. е.) или $AB = DC = 1$ (о. е.)).

Авторами выполнена проверка по методике [4]:

– в абсолютных единицах $\Pi = R - FC - VC = 16 - 6,08 - 6,08 = 3,84$ см;

– в относительных единицах $\Pi = R - FC - VC = 1 - 0,38 - 0,38 = 0,24$.

Таблица 1

Результаты анализа экономических показателей обслуживаемых систем ТГВ и ВК

Рассматриваемый показатель	В геометрических абсолютных единицах (а. е.)	В геометрических относительных единицах (о. е.)
Точка безубыточности (M)	$M = \mu D = 9,89$ см	$M = \mu D = \mu D / 16$ см = $= 9,89$ см / 16 см = $0,618$
Выручка (R)	$R = CD = 16$ см	$R = CD = CD / 16$ см = $= 16 / 16 = 1$
Прибыль (Π)	$\Pi = CN = 3,84$ см	$\Pi = CN = CN / 16$ см = $= 3,84 / 16 = 0,24$
Переменные расходы (VC)	$VC = NL = 6,08$ см	$VC = NL = NL / 16$ см = $= 6,08 / 16 = 0,38$
Постоянные расходы (FC)	$FC = LD = 6,08$ см	$FC = LD = LD / 16$ см = $= 6,08 / 16 = 0,38$

При организации обслуживающего производства, которое занимается услугами, достаточно знать планируемый объем услуг (Q), который в относительных единицах равен единице ($Q = 1$). С помощью «золотого сечения» сторон AD и DC квадрата $ABCD$ (рис. 6) определяем следующие величины в относительных единицах через значения Q :

- $AD = Q = 1$; $AF = Q^* = 0,618Q = 0,618$; $FD = 0,382 \cdot Q = 0,382$;

- $DC = R = Q = 1$;

- $DL = FC = 0,38 \cdot Q = 0,38$;

- $LN = VC = 0,38 \cdot Q = 0,38$;

- $NC = \Pi = 0,24 \cdot Q = 0,24$.

Проверка: $DC = R = DL + LN + NC = Q (0,38 + 0,38 + 0,24) = Q = 1$;

$$AB = Q = AE + BE = (0,618 + 0,382) = 1; AC = \sqrt{AD^2 + DC^2} = \sqrt{1 + 1} = 1,414;$$



$\cos \angle DAC = AD : AC = 1 : 1,414 = 0,7071; \angle DAC = 45^\circ.$

Доказательства достоверности математических соотношений определяются по следующей методике:

1. При $Q_T = 0, \Pi = R - FC - VC = Q_T - 0,38 \cdot Q - 0,38 \cdot Q_m = -0,38,$
где Q_T – текущее значение объема обслуживаемого оборудования;
 Q – планируемый объем реализации оказываемых услуг, $Q = 1.$

Знак «-» говорит о том, что при $Q_T = 0$ прибыль (Π) отрицательная (убытки) и численно равна постоянным расходам $FC.$

2. При $Q_T = Q^* = 0,618;$
 $\Pi = Q_T - 0,38 \cdot Q - 0,38 \cdot Q_m = 0,618 - 0,38; 1 - 0,38 \cdot 0,618 \approx 0.$ Погрешность до 0,5 % возникает вследствие округления цифр. В данном случае прибыль равна нулю и при дальнейшем наращивании объемов услуг переходит в область положительных значений.

3. При $Q_T = Q = 1; \Pi = Q - 0,38 \cdot Q - 0,38 \cdot Q = 0,24 \cdot Q.$ Таким образом, авторами обоснованы показатели обслуживающей организации в зависимости от планируемого (Q) и текущего объема услуг (Q_T):

точка безубыточности	$Q^* = 0,618 \cdot Q;$	(1)
выручка	$R = Q_T;$	(2)
постоянные расходы	$FC = 0,38 \cdot Q;$	(3)
переменные расходы	$VC = 0,38Q;$	(4)
себестоимость	$C = FC + VC = 0,38(Q + Q_T);$	(5)
прибыль	$\Pi = 0,62 \cdot Q_m - 0,38 \cdot Q.$	(6)

Геометрическое построение квадрата $ABCD$ с основными показателями по обслуживанию оборудования инженерных систем и сооружений представлено математическими уравнениями для определения эффективных показателей в условиях цифровизации с помощью «золотого квадрата».

Справедливо тождество (рис. 6):

$$AF + FD = AH + HB = \frac{\sqrt{5}-1}{2} + \frac{3-\sqrt{5}}{2} = 0,618 + 0,382 = 1.$$

Координаты точек в этой системе:

$$A(0; 0), B(0; 1), C(1; 1), D(1; 0), K(0,5; 0), L(1; \frac{3-\sqrt{5}}{2}), E(0; \frac{3-\sqrt{5}}{2}),$$

$$H(0; \frac{\sqrt{5}-1}{2}), F(\frac{\sqrt{5}-1}{2}; 0), \mu(1; \frac{\sqrt{5}-1}{2}), M(\frac{\sqrt{5}-1}{2}; \frac{\sqrt{5}-1}{2}).$$

Анализ полученных уравнений кривых и размер выручки в интервале $x = Q_T / Q$, представлен в табл. 2.



Таблица 2

Результаты анализа экономических показателей обслуживаемых систем ТГВ и ВК

Уравнение дуги	Граничные условия
$y_{AM} = \frac{\sqrt{5}-1}{2} - \sqrt{\frac{3-\sqrt{5}}{2} - x^2}$	$Y_{AM} = R_{AM}$ (выручка) в интервале $x = Q_T / Q = 0 - 0,618$
$y_{AM} = \frac{\sqrt{5}-1}{2} - \sqrt{\frac{7-3\cdot\sqrt{5}}{2} - (x-1)^2}$	$Y_{MC} = R_{MC}$ (выручка) в интервале $x = Q_T / Q = 0,618 - 1$
$y_{EM} = \frac{2-\sqrt{5}}{2} + \sqrt{\frac{210-90\cdot\sqrt{5}}{16} - \left(x - \frac{5\cdot\sqrt{5}-9}{4}\right)^2}$	$Y_{EM} = (FC + VC)_{EM} = C_{EM}$ (полные расходы или себестоимость) в интервале $x = Q_T / Q = 0 - 0,618$
$Y_{MN} = 1,073 - \sqrt{0,20903 - (X - 0,66312)^2}$	$Y_{MN} = (FC + VC)_{MN} = C_{MN}$ (полные расходы или себестоимость) в интервале $x = Q_T / Q = 0,618 - 1$

Заключение по проведенным исследованиям

1. Представленные метод «золотого квадрата», графический и математический алгоритмы определения эффективных показателей оказываемых услуг по исследованию инженерных систем и сооружений теплогазоснабжения, вентиляции, кондиционирования воздуха, водоснабжения и водоотведения, нефтегазопромысловых и др. в условиях цифровизации графически и математически обоснованы.

2. Определены относительные нелинейные показатели организации услуг в зависимости от планируемого (Q) и текущего объема оказываемых услуг (Q_T).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чекардовская, И. А. Анализ развития производств с целью выбора показателя качества / И. А. Чекардовская. – Текст : непосредственный // Проблемы развития предприятий : теория и практика : сборник статей Международной научно-практической конференции. – Пенза, 2008. – С. 25–259.

2. Ковалев, В. В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия / В. В. Ковалев, О. Н. Волкова. – Москва : Проспект, 2007. – 424 с. – ISBN-10 5-482-01318-9. – Текст : непосредственный.

3. Чекардовская, И. А. Оценка эффективности организации технического обслуживания и ремонта оборудования компрессорных станций : специальность 05.23.03 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Чекардовская Ирина Александровна ; Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 2009. – 140 с. – Текст : непосредственный.

4. Алгоритм диагностирования когенерационной газовой микротурбинной установки / М. Н. Чекардовский, К. Н. Илюхин, С. М. Чекардовский, А. Ф. Шаповал. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2022. – № 2. – С. 113–119.

5. Определение действительного класса энергосбережения многоквартирного жилого дома с естественной системой вентиляции / М. В. Бодров, В. Ю. Кузин, Д. Ю. Кузин, М. С. Морозов. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2017. – № 2. – С. 68–73.



CHEKARDOVSKY Sergey Mikhaylovich¹, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of transportation of hydrocarbon resources; CHEKARDOVSKAYA Irina Aleksandrovna¹, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of transportation of hydrocarbon resources; CHEKARDOVSKY Mikhail Nikolaevich², doctor of technical sciences, professor of the chair of engineering systems and structures; SHALAGIN² Igor Yurevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of engineering systems and structures

METHOD AND ALGORITHM FOR DETERMINING EFFECTIVE INDICATORS OF MAINTENANCE OF HEAT AND GAS SUPPLY SYSTEMS IN THE CONDITIONS OF DIGITALIZATION WITH THE HELP OF THE «GOLDEN SQUARE»

¹Industrial University of Tyumen

38, Volodarsky St., Tyumen, 625000, Russia. Tel.: +7 (3452) 28-39-40;

e-mail: misha.tchekardovskij@yandex.ru

Key words: maintenance of engineering systems and structures, revenue and expenses, planning in the context of digitalization, nonlinear dependencies of organizational and economic indicators.

The relevance of the problem of reliable planning of the activity of engineering systems and structures in the field of customer service in the conditions of digitalization using the improved methodology of the «golden square» is determined and described. A method for calculating economic indicators is proposed, an approach to determining the break-even of an enterprise's activity is defined using the principles of the «golden section and rectangle» and the rules of mathematics for constructing the «golden square».

REFERENCES

1. Chekardovskaya I. A. Analiz razvitiya proizvodstv s tselyu vybora pokazatelya kachestva [Analysis of production development in order to select a quality indicator]. Problemy razvitiya predpriyatij: teoriya i praktika [Problems of enterprise development: theory and practice] : sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno prakticheskoy konferentsii. Penza, 2008. P. 25-259.
2. Kovalyov V. V., Volkova O. N. Analiz khozyaystvennoy deyatel'nosti predpriyatiya [Analysis of the economic activity of the enterprise]. Moscow : Prospekt, 2007. 424 p. – ISBN-10 5-482-01318-9.
3. Chekardovskaya I. A. Otsenka effektivnosti organizatsii tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta oborudovaniya kompressornykh stantsiy [Assessment of the effectiveness of the organization of maintenance and repair of compressor station equipment]: spetsialnost 05.23.03 : dissertatsiya na soiskanie stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk: Tyumen. gos. neftegaz. un-t. Tyumen, 2009. 140 p.
4. Chekardovsky M. N., Ilyukhin K. N., Chekardovsky S. M., Shapoval A.F. Algoritm diagnostirovaniya kogeneratsionnoy gazovoy mikroturbinoy ustanovki [Diagnostic procedure for cogeneration gas microturbine unit]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2022. № 2. P. 113–119.
5. Bodrov M. V., Kuzin V. Yu., Kuzin D. Yu., Morozov M. S. Opredelenie deystvitelnogo klassa energosberezheniya mnogokvartirnogo zhilogo doma s estestvennoy sistemoy ventilyatsii [Determining a real class of actual energy saving of a tenement house



with a natural ventilation system]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2017. № 2. P. 68-73.

© **С. М. Чекардовский, И. А. Чекардовская, М. Н. Чекардовский, И. Ю. Шалагин, 2023**

Получено: 19.09.2023 г.