

Использование преобразованной функции желательности Харрингтона для расчета индекса качества строительного производства

*В.В. Шарманов, М.А. Романович, Т.Л. Симанкина, Н.В. Брайла,
О.Ю. Цветков*

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Инженерно-строительный институт, Санкт-Петербург*

Аннотация: Представлен метод интегрального расчета качества строительного производства с использованием функции желательности Харрингтона. Предлагаемый метод позволяет оценивать качество независимо от размерности контролируемых показателей, что открывает возможность использования различных параметров, имеющих разные единицы измерения для оценки качества строительного производства. Благодаря использованию предложенного подхода, можно эффективно и оперативно анализировать процесс строительства и принимать быстрые решения по устранению выявленных отклонений от требуемых стандартов качества. Разработанный метод интегрального расчета качества строительного производства отражает важный этап в области оценки качества строительной продукции.

Ключевые слова: качество строительного производства, интегральный индекс качества строительства, коэффициент качества, обобщенная функция полезности, функция желательности Харрингтона.

Одной из проблем при оценке качества строительного производства, является использование большого количества материальных, финансовых и трудовых ресурсов, с разными единицами измерения. При этом не всегда можно подвести к единому знаменателю эти ресурсы для получения объективной оценки качества. Таким образом, необходимы методики, которые бы позволяли учитывать каждый применимый ресурс с учетом его единицы измерения и получать объективную оценку качества всего строительного производства, выраженного в виде интегрального показателя. Рассматривая труды авторов [1 – 3], можно с уверенностью утверждать, что предложенные авторами подходы к оценке технических систем и решению экономических задач на основе функции желательности Харрингтона отражают доступность данной функции, которая может применяться для оценки необходимых систем с учетом индивидуальных особенностей

анализируемых параметров и критериев с получением единого конкретного числа, отражающего суть проводимых исследований. Авторы [4,5] также указывают на возможность использования функции желательности Харрингтона для оценки исследуемых процессов на основе разноразмерных контролируемых параметров.

Таким образом, функция желательности Харрингтона может быть использована для решения многих задач, а также применима и для оценки качества строительного производства. Построение системы оценки качества на основе функций желательности Харрингтона позволит ответственному лицу быстро принимать решения для настройки желаемого качества строительной продукции. Благодаря такому подходу удастся отразить дефектные элементы, влияющие на общее состояние качества объекта строительства, и рассчитать индекс качества (ИК) каждого дефектного элемента. Предложенный подход к оценке качества строительного производства позволит точно прогнозировать развитие неблагоприятных последствий, а также глубже понять ситуацию о происходящих процессах.

Рассматривая процесс оценки качества строительной продукции, приходим к выводу, что он представляет собой многофакторную комплексную процедуру, включающую ряд взаимоувязанных процессов и охватывающую все этапы создания строительной продукции, от проектирования до сдачи в эксплуатацию. В связи с чем, на каждом этапе выполнения СМР могут быть разнообразные показатели, отражающие качество строительной продукции, в том числе, выраженные в виде коэффициента качества [6] или объема дефектных элементов. Одним из показателей, отражающим качество строительной продукции, может быть индекс безопасности [7 – 9], так как качество строительной работы напрямую зависит от организации рабочего места, в связи с чем данный показатель также может быть учтен при оценке качества. При таком подходе к оценке,

показатели качества могут иметь различные единицы измерения. Например, показатель прочности может выражаться в мегапаскалях, термическая проводимость в ваттах на метр-кельвин, объемы в кубических метрах, параметры безопасности в процентах, штучные элементы в штуках, площади в квадратных метрах и т.д. Однако, также может быть такое, что некоторые показатели не имеют размерности и оцениваются только качественно (хорошо, отлично и т.д.). Например, показатель эстетической привлекательности может быть оценен только словесно, так как нет конкретной единицы измерения, которая бы его характеризовала. Решение данной проблемы возможно с помощью обобщенного **интегрального показателя качества строительной производства** на основе функции желательности Харрингтона. Этот метод позволяет определить качество строительного продукта на основе существующих критериев. Применение такой функции может быть полезно при многофакторном анализе, когда необходимо учесть несколько параметров одновременно и выделить из них наиболее предпочтительные. Она позволяет учесть взаимодействия между параметрами и их взаимозависимость, что дает более объективные результаты с учетом не только физических, но и эстетических или качественных (лингвистических) аспектов при выборе альтернативы.

Рассматриваемая функция желательности Харрингтона, разработанная Лео Энтони Харрингтоном в 1963 году, предназначалась для описания частных критериев и ограничений при решении многокритериальных задач [10], к которым относятся и вопросы качества. В некоторых источниках литературы можно увидеть такие сочетания, как: «*обобщенная функция полезности*» или «*обобщенный критерий эффективности*». Данная функция позволяет установить соответствие между лингвистической оценкой (отлично, хорошо, удовлетворительно и т.п.) и числовыми интервалами предпочтительности (таблица 1).

Таблица № 1

Числовые интервалы безразмерной шкалы и их лингвистическая оценка

Лингвистическая шкала (Желательность)	Граничные значения на шкале желательности
Очень хорошо	1,00 – 0,80
Хорошо	0,80 – 0,63
Удовлетворительно	0,63 – 0,37
Плохо	0,37 – 0,20
Очень плохо	0,20 – 0,00

Значения каждого отдельного отклика (критерия контроля), переведённое в безразмерную шкалу желательности, обозначается через d_i ($i=1, 2, \dots, n$) и называется частной желательностью. Значение $d_i = 0$ соответствует абсолютно неприемлемому качеству продукции, а значение $d_i = 1$ — самому лучшему качеству продукции. Данная кривая экспоненциальная и задается следующим уравнением (1):

$$d = e^{(-e)^{-x}} \quad (1)$$

где d – показатель желательности в цифровом выражении;

x – кодированное значение критерия.

На рис. 1 показаны значения, соответствующие таблице 1.

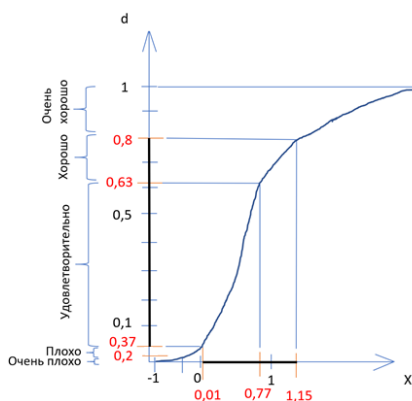


Рис. 1. – Шкала функции желательности Харрингтона

Если рассматривать координатную ось, то значения желательности - это ось ОРДИНАТ. Любому значению желательности должен соответствовать аргумент, расположенный на оси АБЦИСИСС. Распределение интервалов основано на экспертном мнении.

Функция Харрингтона обладает следующими преимуществами:

- является конечной и выражается одним числом;
- может использоваться в различных областях;
- не привязана к каким-либо единицам измерений;
- нейтральна при обобщении, на конечный результат при построении шкалы желательности влияют только личные предпочтения (экспертное мнение).

Так как функция экспоненциальная «е», то её можно выразить через натуральный логарифм, где «е» является основанием натурального логарифма $\ln x$ или $\text{Log}_e x$ и представить в виде обратной функции желательности Харрингтона.

$$\left. \begin{array}{l} -\text{Ln}(h) = e^{-x} \\ \text{Ln}(-\text{Ln} h) = -x \end{array} \right\} \Rightarrow \Psi(h) = -\text{Ln}\left(\frac{1}{\text{Ln}(h)}\right) \quad \text{— формула обратной функции Харрингтона}$$

Таким образом, зная значения желательности, мы сможем определить для этих значений их Аргумент.

Для удобного использования функции Харрингтона произведем её линейное преобразование через отображение любого числа X отрезка $[A, B]$ в требуемое число X^{II} на отрезке $[a, b]$, где $A \rightarrow a$, $B \rightarrow b$ по формуле (2):

$$X^{\text{II}} = \left(\frac{X - A}{B - A}\right) * (b - a) + a \quad (2)$$

где: X^{II} – аргумент Харингтона, соотнесённый с интервалом $[0,01 - 1.51]$;

X – значения показателей качества (объемы дефектов, стоимости, коэффициент качества и пр.)

A – нижняя граница экспертной оценки качества, соответствующая условию «хорошо»;

B – верхняя граница экспертной оценки качества, соответствующая условию «удовлетворительно»;

b – нижняя граница аргумента Харрингтона, равная 0.01, соответствующая условию «удовлетворительно».

a – верхняя граница аргумента Харрингтона, равная 1.51, соответствующая условию «хорошо»;

После определения Индексов относительно аргумента Харрингтона, мы пересчитываем в функцию желательности Харрингтона по формуле (3):

$$H(h) = e^{(-e)^{-xH}} \quad (3)$$

где: h – показатель желательности Харрингтона (Отражает качество)

Таким образом можно рассчитать показатель желательности каждого отдельного индекса (показателя качества) и соотнести их с лингвистической шкалой оценки Харрингтона. Для комплексной оценки всех индексов (показателей качества) можно воспользоваться геометрическим преобразованием по формуле (4):

$$D = \sqrt[n]{\prod d_i} \quad (4)$$

Где: D – Обобщенная функция желательности Харингтона;

n – количество используемых индексов (показателей качества);

d_i – частная функция желательности рассчитываемого отдельного индекса (показателя качества).

Для обобщенного показателя желательности Харрингтона, используется та же шкала предпочтительности, что и для частных

параметров (индексов) согласно таблицы 1. Использование обобщенного показателя желательности Харрингтона позволяет принимать решения об уровне качества выполняемых работ на объекте строительства, а также разрабатывать методы и алгоритмы для управления качеством.

Таким образом, функция желательности Харрингтона основывается на преобразовании значений параметров в безразмерные значения и установлении их приоритетности. При этом используются определенные математические методы, которые позволяют учесть все необходимые факторы и создать обобщенную функцию для выбора наиболее предпочтительных вариантов. Она позволяет моделировать процесс согласованного поведения различных систем и учитывать взаимозависимость между параметрами, что дает возможность принимать более обоснованные решения при выборе из множества альтернатив.

Достоинство в том, что функция позволяет использовать разные показатели абсолютно разных систем. Это открывает большие возможности в использовании подобного подхода даже тогда, когда нет или отсутствуют несколько параметров. Предложенный подход для оценки качества строительной продукции на основе преобразованной функции желательности Харрингтона позволяет использовать её в интеграции с технологией информационного моделирования [11,12], так как в созданной цифровой информационной модели будущего объекта строительства находятся необходимые параметры, характеризующие будущий объект строительства. Одним из таких параметров может выступать стоимость готового изделия или стоимость за единицу готовой продукции.

Применение предложенного метода расчета индекса качества и обобщенного интегрального показателя качества строительного производства рассмотрим на примере выявленных дефектных объемов по

видам СМР в процессе строительства. Исходные данные с дефектными объемами приведены в таблице 2.

Таблица № 2

Количественные показатели выявленных дефектов по видам СМР

Объемы дефектов по видам работ	Нулевой цикл (сваи), шт.	Монолитные работы, м ³	Оконные работы, м ²	Каменные работы, м ³	Фасадные работы, п.м.	Отделочные работы, м ²
	1	2	3	4	5	6
Дефектный объем	3	26	63	1,3	173	78

При оценке качества с использованием преобразованной функции желательности Харрингтона, одной из главных задач является определение граничных значений желательности (лингвистическая оценка) выбранных обобщающих показателей (видов СМР). На этом этапе большое значение отводится экспертам, которые должны соотнести определенные ими граничные значения с лингвистической шкалой согласно таблице 1, при этом необходимо понимать, что граничные значения, как и сами коэффициенты, могут быть абсолютно разными и иметь различные единицы измерения.

Как было сказано выше, определяем граничные значения желательности (экспертная работа) по каждому виду СМР и вносим эти данные в таблицу 3. Таким образом, по каждому виду работ определены граничные значения, которые бы отражали качество строительного производства.

Таблица № 3

Экспертная оценка граничных значений желательности по видам СМР

Лингвистическая шкала (Желательность)	Нулевой цикл (сваи), шт.	Монолитные работы, м ³	Оконные работы, м ²	Каменные работы, м ³	Фасадные работы, п.м.	Отделочные работы, м ²
	1	2	3	4	5	6
Отлично	0-2	0-30	0-20	1-3	0-30	0-20
Хорошо	2-4	30-60	20-40	3-6	30-60	20-40
Удовлетворительно	4-6	60-80	40-60	6-8	60-80	40-60
Плохо	6-8	80-100	60-80	8-10	80-100	60-80
Очень плохо	8-10	Более 100	80-100	Более 10	Более 100	80-100

При определении экспертами граничных значений необходимо руководствоваться тем, чтобы по каждому виду работ были определены свои граничные значения, удовлетворяющие условию [удовлетворительно-хорошо], т.е. те значения, которые являются допустимыми на строительном производстве.

За основу возьмем определенные граничные значения функции Харингтона, отраженные в графике 1, в интервале [удовлетворительно-хорошо], а именно, интервалу $[0,8 - 0,37]$ соответствует интервал $[0,01 - 1,51]$ и соотнесем их для обозначенных видов СМР с внесением в таблицу 4.

Таблица № 4

Соотношение значений Харрингтона в интервале [удовлетворительно-хорошо] с экспертными граничными значениями по видам СМР

Лингвистическая шкала (Желательность)	Значение Харрингтона	Аргумент Харрингтона	Нулевой цикл (сваи), шт.	Монолитные работы, м3	Оконные работы, м2	Каменные работы, м3	Фасадные работы, п.м.	Отделочные работы, м2
			1	2	3	4	5	6
Хорошо	0,8	1,15	2	30	20	3	30	20
Удовлетворительно	0,37	0,01	6	80	60	8	80	60

Предполагаем, что при проверках и качественной организации работ, объем дефектов всегда будет иметь наименьший показатель и располагаться в интервале [хорошо-удовлетворительно], но будут и исключения, которые выйдут за рамки, определённые экспертом. Для каждого из видов СМР построим отображение интервалов из таблицы 4 в интервал [0,01 - 1,51] по формуле (2):

Расчитаем показатели:

$$1. F(1) = \left(\frac{3-2}{6-2}\right) * (0,01 - 1,51) + 1,51 = 1,14$$

$$2. F(2) = \left(\frac{26-30}{80-30}\right) * (0,01 - 1,51) + 1,51 = 1,63$$

$$3. F(3) = \left(\frac{63-20}{60-20}\right) * (0,01 - 1,51) + 1,51 = -0,10$$

$$4. F(4) = \left(\frac{1,3-3}{8-3}\right) * (0,01 - 1,51) + 1,51 = 2,02$$

$$5. F(5) = \left(\frac{173-80}{80-30}\right) * (0,01 - 1,51) + 1,51 = -1,28$$

$$6. F(6) = \left(\frac{78-20}{60-20}\right) * (0,01 - 1,51) + 1,51 = -0,67$$

Далее определяется Индекс качества (ИК) для каждого вида СМР на основе показателя $F(X)$, функции желательности Харрингтона по формуле (3) и мы присваиваем им оценку, согласно таблице 1:

$$1. H(1) = e^{(-1,14)^{-0,319}} = 0,73 - \text{Хорошо}$$

$$2. H(2) = e^{(-0,163)^{-0,195}} = 0,82 - \text{Очень хорошо}$$

$$3. H(3) = e^{(-(-0,10)^{-1,105}} = 0,33 - \text{Плохо}$$

$$4. H(4) = e^{(-2,02)^{-0,132}} = 0,87 - \text{Очень хорошо}$$

$$5. H(5) = e^{(-(-1,28)^{-3,596}} = 0,02 - \text{Очень плохо}$$

$$6. H(6) = e^{(-(-0,67)^{-1,954}} = 0,14 - \text{Очень плохо}$$

Таким образом, мы получили **Индекс качества (ИК)** по каждому виду работ, выраженный в числовом значении, который можно интерпретировать, согласно лингвистической оценке.

Рассматривая дефектные объемы по видам СМР в таблице 2 и сравнивая с определёнными экспертами граничными значениями в таблице 3, можно наблюдать, что работы под номерами № 3, 5, 6 уже показали отрицательную динамику, т.к. вышли за границы удовлетворительно. Это

может свидетельствовать о том, что индекс качества таких видов работ будет низким, что несомненно отразится на расчете обобщённого интегрального показателя качества строительного производства.

На основе рассчитанных индексов качества по каждому виду СМР, вычислим обобщённый **интегральный показатель качества** всего строительного производства по формуле (4):

$$D = \sqrt[n]{\prod d_i} = \sqrt[6]{0,73 * 0,82 * 0,33 * 0,87 * 0,02 * 0,14} = 0,28$$

Таким образом, обобщенный интегральный индекс качества строительного объекта составил 0,28, что, согласно таблице 2, соответствует показателю «**ПЛОХО**».

Анализируя полученный **интегральный показатель качества строительного производства**, можно сказать, что на него повлияли объемы дефектов, превышавшие граничные значения, определенные экспертами, и это указывает на необходимость мероприятий, направленных на устранение выявленных дефектов.

Таким образом, используя преобразованную функцию Харрингтона для оценки качества строительного производства, можно сделать вывод о том, что данный подход позволяет учитывать многофакторность контролируемых параметров, не привязываясь к конкретным единицам измерения, и отразить результат в виде единого числового значения с лингвистической оценкой. Стоит отметить, что подобная оценка может быть полезным инструментом для повышения качества строительства и своевременного предотвращения возможных негативных последствий. Важно понимать, что метод Харрингтона необходимо применять на протяжении всего процесса строительства, начиная с проектирования и заканчивая сдачей готового объекта. Только так можно добиться оптимального результата и уверенности в высоком качестве работ.

Литература

1. Любушин Н.П., Брикач Г.Е. Использование обобщенной функции желательности Харрингтона в многопараметрических экономических задачах // Экономический анализ: теория и практика. 2014. №18 (369). С. 1-9.

2. Пичкалев А. В. Обобщенная функция желательности Харрингтона для сравнительного анализа технических средств // Исследования наукограда. 2012. №1. С. 1-4.

3. Булгакова И. Н., Морозов А. Н. Использование «Функции желательности» для формализации комплексного показателя конкурентоспособности промышленного предприятия // Вестник ВГУ. серия: Экономика и управление. 2009. № 2. С. 54-56.

4. Пичкалев А. В. Применение кривой желательности Харрингтона для сравнительного анализа автоматизированных систем контроля // Вестник КГТУ. Красноярск : КГТУ. 1997. С. 128–132.

5. Калинин О.И., Михайлова О.Ю. Использование функции желательности Харрингтона для качественной оценки деловой репутации (гудвилла) предприятия (на примере российских металлургических заводов). // Бюллетень науки и практики. 2016г. С. 1-9

6. Шарманов В.В., Романович М.А., Симанкина Т.Л., Брайла Н.В., Цветков О.Ю. Использование коэффициента качества в оценке строительно-монтажных работ. // Инженерный вестник Дона. 2023. №9. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2023/8668

7. Шарманов В.В., Романович М.А. ТИМ - инструмент контроля, применяемый службой охраны труда. // В сборнике: Техносферная безопасность [Материалы девятой всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Омский государственный технический университет]. г. Омск. 2022. С.148-151.

8. Осадчая Л. А. Использование BIM–технологии для обеспечения безопасных условий труда на строительной площадке // В сборнике: Образование. Наука. Производство. [Материалы– XIII Международный молодежный форум]. г. Белгород. 2021.– С.459– 462.

9. Шарманов В. В., Симанкина Т. Л. Прогнозирование травматизма на объекте строительства на основе матрично– индексного подхода // В сборнике: Проблемы обеспечения функционирования и развития наземной инфраструктуры комплексов систем вооружения. [Материалы всероссийской научно– технической конференции Военно–космическая академия имени А. Ф. Можайского]. г. Санкт– Петербург. 2021. – С.113– 121.

10. Fedorchenko S.G., Fedorchenko G.S. Integral measure of evaluation of the status of energy security. // Problemele energeticii regionale. 2014. №1(24). State University of Transnistria, Tiraspol. pp.1-16.

11. Zhang Xingliang. Application of information technology in BIM monitoring of construction quality of large construction projects. // Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering. 2022. Vol. 23(9). pp.1-18. DOI:10.3233/JCM-226555.

12. Zhou Zhaoyin, Liu Xiaowan, Zhang Ting, Xiong Peixi, Dai Xia., Liao Xiaofeng. Research on Construction Quality Acceptance and Digital Archive Management System Based on BIM. // International Conference on Environmental and Engineering Management (EEM 2021). Vol. 253. pp.1-5. DOI:10.1051/e3sconf/202125301032

References

1. Lyubushin N.P., Brikach G.E. Ehkonomicheskii analiz: teoriya i praktika. 2014. №18 (369). pp. 1-9.
2. Pichkalev A. V. Issledovaniya naukograda. 2012. №1. pp. 1-4.

3. Bulgakova I. N., Morozov A. N. Vestnik VGU. seriya: Ehkonomika i upravlenie. 2009. № 2. pp. 54-56.
 4. Pichkalev A. Vestnik KGTU. Krasnoyarsk: KGTU. 1997. pp. 128–132.
 5. Kalinskii O.I., Mikhailova O.YU. Byulleten' nauki i praktiki. 2016g. pp. 1-9.
 6. Sharmanov V.V., Romanovich M.A., Simankina T.L., Braila N.V., Tsvetkov O.Y. Inzhenernyi vestnik Dona. 2023. №9. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2023/8668
 7. Sharmanov V.V., Romanovich M.A. V sbornike: Tekhnosfernaya bezopasnost' [Materialy devyatoi vserossiiskoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Omskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet]. g. Omsk. 2022. pp.148-151.
 8. Osadchaya L. A. V sbornike: Obrazovanie. Nauka. Proizvodstvo. [Materialy– XIII Mezhdunarodnyi molodezhnyi forum]. g. Belgorod. 2021. pp.459– 462.
 9. Sharmanov V. V., Simankina T. L. V sbornike: Problemy obespecheniya funktsionirovaniya i razvitiya nazemnoi infrastruktury kompleksov sistem vooruzheniya. [Materialy vserossiiskoi nauchno– tekhnicheskoi konferentsii Voенно–kosmicheskaya akademiya imeni A. F. Mozhaiskogo]. SankT– Peterburg. 2021. pp.113– 121.
 10. Fedorchenko S.G., Fedorchenko G.S. Problemele energeticii regionale. 2014. №1(24). Tiraspol. pp.1-16.
 11. Zhang Xingliang. Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering. 2022. Vol. 23(9). Pp.1-18. DOI: 10.3233/JCM-226555.
 12. Zhou Zhaoyin, Liu Xiaowan, Zhang Ting, Xiong Peixi, Dai Xia., Liao Xiaofeng. International Conference on Environmental and Engineering Management (EEM 2021). Vol. 253. Pp.1-5. DOI:10.1051/e3sconf/202125301032.
-

