

Т.Т. Велямов¹, О.А. Мананкова^{2*}, М.З. Якубова²

¹Казахский университет инновационных и телекоммуникационных систем,
Уральск, Казахстан

² НАО «Алматинский университет энергетики и связи им. Гумарбека Даукеева»,
Алматы, Казахстан

Информация об авторах:

Велямов Турганжан Турсунович – кандидат технических наук, доцент экономики, Казахский университет инновационных и телекоммуникационных систем, Уральск, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0003-0044-7462>, e-mail: fea_vel@mail.ru

Мананкова Ольга Александровна – магистр, докторант PhD, НАО «Алматинский университет энергетики и связи им. Гумарбека Даукеева», Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0003-0137-1252>, e-mail: o.manankova@aues.kz

Якубова Мубарак Захидовна – Академик КазНАЕН, доктор технических наук, профессор, НАО «Алматинский университет энергетики и связи им. Гумарбека Даукеева», Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0001-9927-7568>, e-mail: m.yakubova@aues.kz

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ ИНЖЕНЕРНОЙ СЕТИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРИ СЛУЧАЙНЫХ ОТКАЗАХ

Аннотация. *Статья посвящена разработке уникальной интеллектуальной системы, решающей задачу управления отказами оборудования водоснабжения в инженерной сети. Разработанная интеллектуальная система минимизирует издержки на обслуживание оборудования водоснабжения и наиболее соответствует условиям функционирования инженерной сети с учетом современных особенностей экономических колебаний на финансовом рынке оборудования водоснабжения и стремительного развития технологий ИТ.*

Ключевые слова: *интеллектуальная система, устойчивость, случайные отказы, оптимизация, задачи управления, принятие решений, инженерные сети, водоснабжение.*

Введение

Проблема эксплуатации инженерного оборудования многоквартирных домов сводится к тому, что зачастую оно входит в состав имущества собственника, чем затрудняет регулирование технического обслуживания.

Правовое регулирование данного вопроса не позволяет вовремя отслеживать современные тенденции, касающиеся данной сферы деятельности в сфере ЖКХ. Существующие стратегии развития системы ЖКХ в основном нацелены на модернизацию инженерного оборудования многоквартирных домов за счет средств фонда капитального ремонта собственников, что существенно затрудняет своевременное обслуживание и замену устаревшего оборудования.

Ранее вопросы в области водоснабжения, освещенные в работах [1-5], в основном предполагали решения по обеспечению рационального управления водой и подводящей сети в области регулирования расхода и давления, подбора диаметров трубопроводов, оптимизации работы насосов, а также обнаружение аномалий и нештатных ситуаций в инженерной сети. Проблеме своевременной

диагностики и замены оборудования водоснабжения уделялось меньше внимания, поэтому в работе предлагается минимизировать затраты путем введения в систему ЖКТ методики расчета оптимального срока замены и обслуживания технологического оборудования при случайных отказах.

Материалы и методы

Приняв во внимание тот факт, что средняя наработка на отказ современного оборудования и его отдельных частей может исчисляться годами, современные методы определения оптимального времени периодичности технического обслуживания, ремонта или замены в основном основаны на сборе и обработке информации о надежности промышленных объектов, при их испытаниях в лабораториях или на специальных полигонах, а также путем длительных эксплуатационных испытаний. Такой подход требуют значительного времени и становятся дорогостоящими. Помимо этого, необходимо учитывать, что продолжительность ремонтного цикла может быть разным даже в рамках одной модели оборудования, так как срок службы элементов различных устройств различен. Также стохастический процесс износа и разницы между сроками службы оборудования вносит дополнительные условия, которые не учитываются системой [6-8].

Таким образом, для устойчивого функционирования оборудования водоснабжения и непрерывности технологического процесса инженерной сети необходимо ставить и решать задачи управления запасами для того чтобы гарантировать бесперебойность водоснабжения, отслеживать производство оборудования у поставщиков (снятие с производства определенных моделей, выход обновлений и т.п.), учитывать временные особенности транспортировки от поставщика до потребителя, а также спрос и предложение.

Исходя из этого, классическую классификацию задач управления запасами по наличию того или иного признака можно позиционировать как:

- в зависимости от периодичности и характера пополнения запасов (однопериодные и многопериодные, мгновенные и с задержкой), когда при закупе оборудования закупаются сразу все комплектующие, в противном случае докупаются по мере выхода из строя и далее пополняются до оптимального уровня;

- в зависимости от характера спроса (детерминированные и вероятностные). Зачастую предугадать какой запас комплектующих необходимо осуществить невозможно, так как это задача сбора статистики сбоев оборудования за определенный период времени, что является сложной задачей принятия решений. Если оборудование современное и инновационное, то для сбора подобной статистики потребуется время;

- в зависимости от количества типов ресурсов (однопродуктовые и многопродуктовые). Для устранения неполадок в оборудование не всегда требуется полная его замена, можно справиться путем замены одного или нескольких элементов или блоков. Отсюда складывается задача управления запасами одного или нескольких видов комплектующих оборудования;

– по виду целевой функции на задачи с пропорциональными и непропорциональными затратами. Если от эффективности работы оборудования водоснабжения зависит бесперебойное функционирование дома, то задача выбора целевой функции будет пропорциональна затратам на его обслуживание и ремонт, в противном случае необходимо рассчитать оптимальный объем запасов, чтобы расходы на содержание инженерного оборудования были минимальны.

В общем случае задачи управления запасами инженерного оборудования водоснабжения сводятся к задачам нелинейного программирования, единых методов и решения которых нет [9].

Так же необходимо учитывать, что современные оптимизационные модели управления предлагают определить оптимальный уровень запасов и комплектовщиков в основном путем определения наработки на отказ, среднего времени восстановления и других показателей надежности оборудования, что требует длительного периода статистических исследований, который может превысить время эксплуатации самого оборудования, особенно когда имеет место моральное устаревание технологического оборудования водоснабжения, что присуще оборудованию, эксплуатируемых в инженерных сетях [10-12]. С учетом этого, предлагаемая методика является уникальной, так как определяет уровень запаса в условиях неопределенности отказа с минимизацией суммарных затрат на приобретение и средних затрат из-за нехватки запчастей при поломке путем табулирования критериальной функции задачи управления запасами при случайном спросе. Предлагаемая в статье методика может применяться в любой отрасли хозяйственной деятельности, запасы следует рассматривать как тип инвестированного актива с надлежащим контролем рисков для компаний.

Постановка задачи и выбор критерия оптимизации задачи управления запасами при случайном спросе определяются следующими условиями: пусть для некоторого оборудования водоснабжения целесообразно иметь запасные части (для простоты одного наименования). Известно, что вероятность поломки n штук этих деталей равна $P(n)$. Стоимость одной детали равна S_1 , убытки в случае поломки и отсутствия запчасти – S_2 . Требуется определить оптимальное количество запасных деталей N , т.е. такое, чтобы суммарные затраты на приобретение и средние затраты из-за нехватки запчастей при поломке были минимальны.

При выявлении основных особенностей, взаимосвязей и количественных закономерностей возможны два исключаящих друг друга случая: $n \leq N$, когда запас покрывает спрос, и $n > N$, когда имеется недостаток запчастей.

Таким образом, суммарные затраты на приобретение и средние затраты из-за нехватки запчастей при поломке рассчитываются как:

$$Z(N) = S_1 \sum_{n=0}^N (N - n)P(n) + S_2 \sum_{n=N+1}^{\infty} (n - N)P(n), \quad (1)$$

где n – запас деталей;

$P(n)$ – вероятность поломки n штук деталей;

$Z(N)$ – расходы на приобретение и пополнение запасов деталей при поломке;

N – оптимальный уровень запаса деталей.

Чтобы определить оптимальный объем запасных деталей N для устойчивого функционирования многоквартирного дома, необходимо минимизировать суммарные затраты на приобретение запасных частей при случайном отказе и средние затраты из-за нехватки запчастей при поломке.

Подсчитаем значение целевой функции Z для $(N+1)$:

$$Z(N + 1) = S_1 \sum_{n=0}^{N+1} (N + 1 - n)P(n) + S_2 \sum_{n=N+2}^{\infty} (n - N - 1)P(n) \quad (2)$$

Используя равенство $\sum_{n=0}^{\infty} P(n) = 1$, записываем как:

$$\sum_{n=N+1}^{\infty} P(n) = 1 - \sum_{n=0}^N P(n). \quad (3)$$

Окончательно получаем:

$$Z(N + 1) = Y(N) + (S_1 + S_2) \sum_{n=0}^N P(n) - S_2. \quad (4)$$

Аналогично можно показать, что для значения целевой функции $Z(N-1)$ выражение будет иметь следующий вид:

$$Z(N - 1) = Z(N) - (S_1 + S_2) \sum_{n=0}^N P(n) + S_2. \quad (5)$$

$Z(N)$ минимально, если $Z(N-1) > Z(N) < Z(N+1)$:

$$Z(N + 1) - Z(N) = (S_1 + S_2) \sum_{n=0}^N P(n) - S_2 > 0; \quad (6)$$

$$Z(N - 1) - Z(N) = -(S_1 + S_2) \sum_{n=0}^{N-1} P(n) + S_2 > 0; \quad (7)$$

$$\sum_{n=0}^{N-1} P(n) < \frac{S_2}{S_1 + S_2} < \sum_{n=0}^{\bar{N}} P(n). \quad (8)$$

Вычисляя левую и правую части неравенства (8), можно без труда найти такое \bar{N} , при котором отношение $S_2/(S_1+S_2)$ окажется заключенным между ними. Это значение \bar{N} и является оптимальным. Если отказ оборудования – непрерывная величина, то, заменяя распределение вероятностей $P(n)$ плотностью распределения вероятностей $f(n)$, получим математическую модель в таком виде:

$$Z(N) = S_1 \int_0^N (N - n)f(n) dn + S_2 \int_{N+1}^{\infty} (n - N)f(n)dn. \quad (9)$$

И чтобы определить оптимальное значение $N_{\text{опт}}$, необходимо вычислить производную:

$$\frac{dZ}{dN} = S_1 \int_0^N f(n)dn - S_2 \int_{N+1}^{\infty} f(n)dn. \quad (10)$$

Используя равенство $\int_0^{\infty} f(n)dn = 1$, получаем:

$$\int_{N+1}^{\infty} f(n)dn = 1 - \int_0^N f(n)dn \quad (11)$$

и окончательно – выражение для производной:

$$\frac{dZ}{dN} = (S_1 + S_2) \int_0^N f(n)dn - S_2 \quad (12)$$

Приравнивая это выражение нулю, получаем выражение, по которому можно определить оптимальное количество необходимых запасных деталей:

$$S = \frac{S_2}{S_1 + S_2} = \int_0^N f(n)dn = P(n \leq \bar{N}). \quad (13)$$

Результаты и обсуждение

Вычисляя левую и правую части неравенства (8), можно без труда найти такое \bar{N} , при котором отношение $\frac{S_2}{S_1 + S_2}$ окажется заключенным между ними. Это значение \bar{N} , и является оптимальным. Функция распределения отказов, построена на основе положений, допущений и методов теории вероятности и математической статистики и имеет вид, представленный на рис. 1.

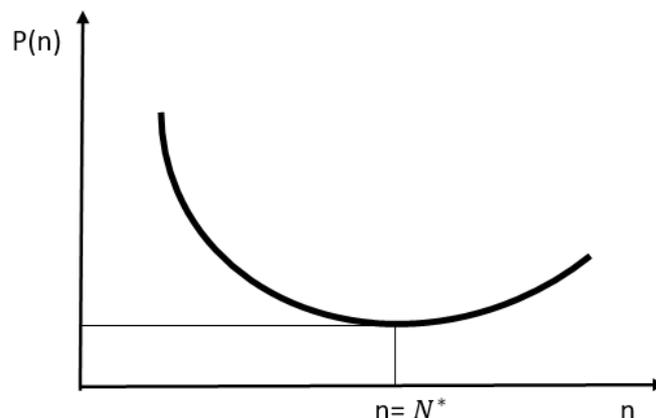


Рисунок 1 – Функция распределения отказов
[Источник: <https://www.sibsau.ru/sveden/edufiles/47306/>]

Определяя нижний критический уровень запаса комплектующих оборудования водоснабжения, минимизируются издержки управления запасами при случайном отказе оборудования. Если отказ – непрерывная величина, то, заменяя распределение вероятностей $P(n)$ плотностью распределения вероятностей $f(n)$, получим математическую модель в таком виде:

$$Z(N) = S_1 \int_0^N (N - n)f(n) dn + S_2 \int_{N+1}^{\infty} (n - N)f(n)dn. \quad (14)$$

И чтобы определить оптимальное значение N_{opt} , необходимо вычислить производную:

$$\frac{dZ}{dN} = S_1 \int_0^N f(n)dn - S_2 \int_{N+1}^{\infty} f(n)dn. \quad (15)$$

Используя равенство $\int_0^{\infty} f(n)dn = 1$, получаем:

$$\int_{N+1}^{\infty} f(n)dn = 1 - \int_0^N f(n)dn \quad (16)$$

и окончательно - выражение для производной:

$$\frac{dZ}{dN} = (S_1 + S_2) \int_0^N f(n)dn - S_2 \quad (17)$$

Приравнявая выражение (17) к нулю, получаем:

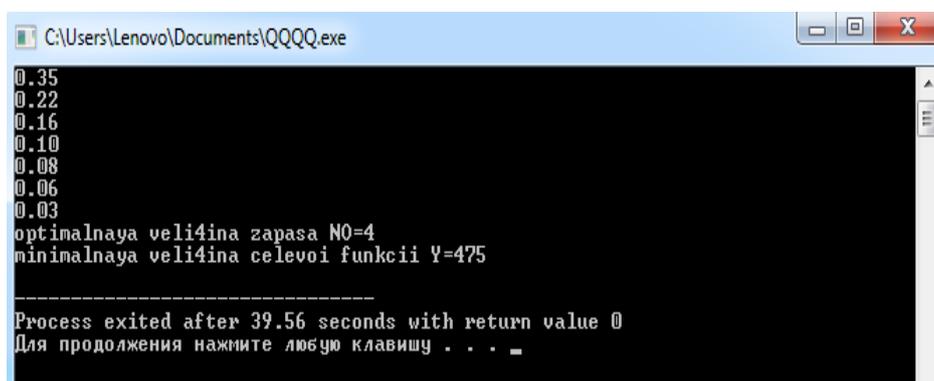
$$S = \frac{S_2}{S_1 + S_2} = \int_0^N f(n)dn = P(n \leq \bar{N}). \quad (18)$$

Теперь по выражению (18) можно определить оптимальное количество необходимых запасных деталей.

На основе построенной математической модели разработана интеллектуальная система на базе языка программирования C++.

Произведен сбор и анализ статистических данных сбоев для объекта многоквартирного дома. Исходя из которых следует, что вероятность выхода из строя n -го изделия $P(n)$ соответственно равна: 0,35; 0,22; 0,16; 0,10; 0,08; 0,06; 0,03.

Пусть стоимость одного типа оборудования водоснабжения будет равна $S_1 = 200$ д.е., затраты в случае выхода из строя этого оборудования будет равно $S_2 = 500$ д.е., максимальное число исследуемых типов оборудования и комплектующих взято как $N_{max} = 7$. Результаты работы программы на основе математической модели расчета оптимального количества запасов приведена на рис. 2.



```

C:\Users\Lenovo\Documents\QQQQ.exe
0.35
0.22
0.16
0.10
0.08
0.06
0.03
optimalnaya veli4ina zapasa N0=4
minimalnaya veli4ina celevoi funkcii Y=475
-----
Process exited after 39.56 seconds with return value 0
Для продолжения нажмите любую клавишу . . .

```

Рисунок 2 – Результаты работы [Источник: материалы автора]

Результаты расчета: оптимальная величина запаса $N_0 = 4$ детали.

Минимальная величина целевой функции, суммарные затраты на приобретение и средние затраты из-за нехватки запчастей при поломке – $Z = 475$ д.е.

Заключение

В работе предложена интеллектуальная система расчета запасов оборудования водоснабжения и его комплектующих при случайном отказе из-за поломки детали на основе математической модели управления запасами, не имеющая аналогов в настоящее время. Показано что, в общем случае задачи управления запасами инженерного оборудования сводятся к задачам нелинейного программирования, общих методов, решения которых нет. Проведены статистические исследования отказов и представлены результаты вероятности сбоев для инженерной сети многоквартирного дома. На основе данных исследований с использованием математической модели построена эмпирическая функция распределения. Разработана программа определения оптимального уровня запасов при случайном спросе и суммарных затрат на приобретение оборудования водоснабжения и его комплектующих и средних затрат из-за нехватки запчастей при поломке. Входными параметрами задачи является – вероятность выхода из строя оборудования водоснабжения, а выходными параметрами являются – оптимальный уровень запаса и минимальное значение целевой функции, оценивающий уровень издержек компании на приобретения и хранения запасных частей к оборудованию водоснабжения при их поломке. Результаты полученных разработок, в рамках статьи, могут быть использованы при управлении запасами комплектующих в реально функционирующих инженерных сетях.

Литература:

1. *Simonovic S.P. Systems Approach to Management of Water Resources - Toward Performance Based Water Resources Engineering. Water. 2020, 12(4), 1-16. <https://doi.org/10.3390/w12041208> (в международном журнале).*
2. *Stanczyk, J., Burszta-Adamiak E. Development of Methods for Diagnosing the Operating Conditions of Water Supply Networks over the Last Two Decades. Water. 2022, 14, 786. <https://doi.org/10.3390/w14050786> (в международном журнале).*
3. *Giffoni T. F., Silva F. das G. B., Soares A. K., Reis J. A. T., Silva A. T. Y. L. Sectorization in water distribution networks: a systematic bibliographic review. Research, Society and Development. 2021, 10(12), 1-22. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20330> (в международном журнале).*
4. *Studzinski J., Ziolkowski A. Control of Pumps of Water Supply Network under Hydraulic and Energy Optimisation Using Artificial Intelligence. Entropy. 2020, 22(9), 1-20. <https://doi.org/10.3390/e22091014> (в международном журнале).*
5. *Jackson I., Tolujevs J., Kegenbekov Zh. Review of inventory control models: a classification based on methods of obtaining optimal control parameters. Transport and Telecommunication. 2020, 21(3), 191–202, <https://doi.org/10.2478/ttj-2020-0015> (в международном журнале).*
6. *Leszek K., Migawa K. Semi-Markov System Model for Minimal Repair Maintenance. Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability. 2019, 21(2), 256–260. <https://doi.org/10.17531/ein.2019.2.9> (в международном журнале).*

7. Chang C.-C. *Optimum Preventive Maintenance Policies for Systems Subject to Random Working Times, Replacement, and Minimal Repair*. *Computers & Industrial Engineering*. 2014, 67, 185–194. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2013.11.011> (в международном журнале).
8. Hoang Ph. *Reliability of Systems with Multiple Failure Modes*. *Handbook of Reliability Engineering*. 2006, 19–36. https://doi.org/10.1007/1-85233-841-5_2
9. Евдокимов Д.А. *Модели управления запасами. Реализация модели Уилсона без ограничений в среде пакета Mathcad*. Матер. междунар. конф. «Студенческий научный форум». Россия, 2019, 1-12.
10. Кошевой О.С. *Разработка управленческих решений: учеб. пособие*. Пенза: «Издательство ПГУ». 2005, 64 с.
11. Кузнецова, Н. В. *Методы принятия управленческих решений: учебное пособие*. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015, 222 с.
12. Вентцель Е.С. *Исследование операций: задачи, принципы, методология: учебное пособие*. М.: КноРус. 2013, 192 с.

References:

1. Simonovic SP (2020) *Systems Approach to Management of Water Resources - Toward Performance Based Water Resources Engineering*. *Water*:12(4), 1-16. (in Eng.) <https://doi.org/10.3390/w12041208>
2. Stanczyk J, Burszta-Adamiak E (2022) *Development of Methods for Diagnosing the Operating Conditions of Water Supply Networks over the Last Two Decades*. *Water*: 14, 786. (in Eng.) <https://doi.org/10.3390/w14050786>
3. Giffoni TF, Silva F das GB, Soares AK, Reis JAT, Silva ATYL (2021) *Sectorization in water distribution networks: a systematic bibliographic review*. *Research, Society and Development*: 10(12), 1-22. (in Eng.) <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20330>
4. Studzinski J, Ziolkowski A (2020) *Control of Pumps of Water Supply Network under Hydraulic and Energy Optimisation Using Artificial Intelligence*. *Entropy*: 22(9), 1-20. (in Eng.) <https://doi.org/10.3390/e22091014>
5. Jackson I, Tolujevs J, Kegenbekov Zh (2020) *Review of inventory control models: a classification based on methods of obtaining optimal control parameters*. *Transport and Telecommunication*:21(3), 191–202, (in Eng.) <https://doi.org/10.2478/tjt-2020-0015>
6. Leszek K, Migawa K *Semi-Markov (2019) System Model for Minimal Repair Maintenance*. *Ekspolatacja i Niezawodnosc - Maintenance and Reliability*: 21(2), 256–260. (in Eng.) <https://doi.org/10.17531/ein.2019.2.9>
7. Chang C-C (2014) *Optimum Preventive Maintenance Policies for Systems Subject to Random Working Times, Replacement, and Minimal Repair*. *Computers & Industrial Engineering*: 67, 185–194. (in Eng.) <https://doi.org/10.1016/j.cie.2013.11.011>
8. Hoang Ph (2006) *Reliability of Systems with Multiple Failure Modes*. *Handbook of Reliability Engineering* 19–36. (in Eng.) https://doi.org/10.1007/1-85233-841-5_2
9. Evdokimov DA *Modeli upravleniya zapasami. Realizaciya modeli Wilсона bez ogranicheniy v srede paketa Mathcad [Inventory management models. Implementation of the model and Wilson without restrictions in the environment of the Mathcad package]* Mater. mejdunar. conf. «Studencheskiy nauchniy forum» = Mater. international conf. "Student Scientific Forum". Russia, 2019, 1-12. (in Russ.)
10. Koshevoy O.S. (2005) *Razrabotka upravlencheskih resheniy uchebnoe posobie [Development of management solutions: a textbook]* - Penza: PGU Publishing House, 64. (in Russ.)
11. Kuznetsova N.V. (2015) *Methody prinyatiya upravlencheskih resheniy: uchebnoe posobie [Methods of managerial decision-making: a textbook]* -M.: NITs INFRA-M., 222. (in Russ.)
12. Wentzel E.S. (2013) *Issledovanie operaciy: zadachi, principy, metodologiya: uchebnoe posobie [Operations research: tasks, principles, methodology: textbook]* - M.: KnoRus., 192. (in Russ.)

Т.Т. Велямов¹, О.А. Мананкова^{2*}, М.З. Якубова³

¹Қазақ инновациялық және телекоммуникациялық жүйелер университеті, Орал, Қазақстан

² КеАҚ «Ғұмарбек Дәукеев атындағы АЭЖБУ», Алматы, Қазақстан

Авторлар туралы мәліметтер:

Велямов Тұрғанжан Тұрсынұлы – техника ғылымдарының кандидаты, экономика кафедрасының доценті, Қазақ инновациялық және телекоммуникациялық жүйелер университеті, Орал, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0003-0044-7462>, email: fea_vel@mail.ru

Мананкова Ольга Александровна – магистр, PhD докторанты, «Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және коммуникация университеті» КеАҚ, Алматы, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0003-0137-1252>, email: o.manankova@aes.kz

Якубова Мубарак Захидовна – Академик, т.ғ.д., профессор, «Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және коммуникациялар университеті» КеАҚ, Алматы, Қазақстан

<https://orcid.org/0000-0001-9927-7568>, email: m.yakubova@aes.kz

**СУМЕН ҚАМТУ БАРЫСЫНДА КЕЗДЕЙСОҚ БАС ТАРТУ КЕЗІНДЕ
ИНЖЕНЕРЛІК ЖҮЙЕНІ ПАЙДАЛАНУЫН ОҢТАЙЛЫ
БАСҚАРУДЫҢ ЗИЯТКЕРЛІК ЖҮЙЕСІ**

Аңдатпа. Мақала инженерлік желідегі сумен жабдықтау жабдығының ақауларын басқару мәселесін шешетін бірегей интеллектуалды жүйені әзірлеуге арналған. Дамыған зияткерлік жүйе сумен жабдықтау жабдығына қызмет көрсету шығындарын барынша азайтады және сумен жабдықтау жабдығының қаржы нарығындағы экономикалық ауытқулардың заманауи ерекшеліктерін және IT-технологиялардың қарқынды дамуын ескере отырып, инженерлік желіні пайдалану шарттарына барынша сәйкес келеді.

Түйін сөздер: интеллектуалды жүйе, тұрақтылық, кездейсоқ істен шығулар, оңтайландыру, бақылау тапсырмалары, шешім қабылдау, инженерлік желілер, сумен жабдықтау.

T.T. Velyamov¹, O.A. Manankova^{2*}, M.Z. Yakubova²

¹Kazakh University of Innovation and Telecommunication Systems, Uralsk, Kazakhstan

²NJSC "Almaty University of Energy and Communications named after Gumarbek Daukeev",
Almaty, Kazakhstan

Information about authors:

Velyamov Turganzhan Tursunovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Economics, Kazakh University of Innovative and Telecommunication Systems, Uralsk, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0003-0044-7462>, email: fea_vel@mail.ru

Manankova Olga Alexandrovna – master, doctoral student PhD, NJSC "Almaty University of Energy and Communications named after Gumarbek Daukeev", Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0003-0137-1252>, email: o.manankova@aes.kz

Yakubova Mubarak Zakhidovna – Academician, Doctor of Technical Sciences, Professor, NJSC "Almaty University of Energy and Communications named after Gumarbek Daukeev", Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0001-9927-7568>, email: m.yakubova@aes.kz

INTELLIGENT SYSTEM OF OPTIMUM CONTROL OF WATER SUPPLY ENGINEERING NETWORK OPERATION AT RANDOM FAILURES

Abstract. *The article is devoted to the development of a unique intelligent system that solves the problem of managing failures of water supply equipment in an engineering network. The developed intelligent system minimizes the costs of maintaining water supply equipment and most closely matches the conditions for the operation of an engineering network, taking into account modern features of economic fluctuations in the financial market for water supply equipment and the rapid development of IT technologies.*

Keywords: *intelligent system, stability, random failures, optimization, control tasks, decision making, engineering networks, water supply.*