

**Sergey V. Prykhodko**  
Приходько  
Сергей  
Борисович



**Oleg A. Kudin**  
Кудин  
Олег  
Алексеевич

УДК 005.8:519.22

П 77

## **INTERVAL ESTIMATION OF THE WORK DURATION DEVIATIONS WHILE TIME MANAGEMENT IN THE PROJECTS DESIGN ENGINEERING OF VESSELS**

**ИНТЕРВАЛЬНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ РАБОТ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ВРЕМЕНЕМ В ПРОЕКТАХ РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ СУДОВ**

DOI 10.15589/SMI20140210

**Sergey V. Prykhodko** С. Б. Приходько, д-р техн. наук, доц.;  
sergiy.prykhodko@nuos.edu.ua  
ORC ID: 0000-0002-2325-018X

**Oleg A. Kudin** О. А. Кудин, инж.  
oleg.kudin@nuos.edu.ua  
ORC ID: 0000-0003-3334-0012

*Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Nikolaev*

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Николаев*

**Abstract.** The application of interval estimation of deviation of work duration under the time management of projects of design vessels documentation development has been studied. The aim of the study is to determine the possibilities to apply the interval estimation of deviation of work duration on the basis of normalizing transformations. This will reduce the probability of exceeding the time and budget of projects of design vessels documentation development. The Johnson's normalizing transformations and rules of interval arithmetic are applied to determine the deviation of work duration in projects of design vessels documentation development. Three types of interval deviation of work duration in projects of design vessels documentation development are determined.

The example of usage of interval estimates of deviation of work duration is given on the basis of Johnson's normalizing transformations in projects of design vessels documentation development. The research results can be used under the time management of projects of design vessels documentation development. This improves the reliability of estimation of work duration deviation and helps to make the informed decisions to change the schedule of projects of design vessels documentation development.

**Keywords:** project time management, project of design vessel documentation development, Johnson's normalizing transformation, interval arithmetic.

**Аннотация.** Показана возможность применения интервального оценивания отклонений продолжительности работ на основе нормализующего преобразования Джонсона и интервальной арифметики для управления временем в проектах разработки конструкторской документации судов, что позволит повысить достоверность оценивания отклонений продолжительности работ и уменьшить риски превышения сроков проектов.

**Ключевые слова:** управление временем проекта, проект разработки конструкторской документации судна, нормализующее преобразование Джонсона, интервальная арифметика.

**Анотація.** Показано можливість застосування інтервального оцінювання відхилень тривалості робіт на основі нормалізуючого перетворення Джонсона та інтервальної арифметики для управління часом у проектах розробки конструкторської документації суден, що дозволяє підвищити достовірність оцінювання відхилень тривалості робіт та зменшити ризики щодо перевищення строків проектів.

**Ключові слова:** управління часом проекту, проект розробки конструкторської документації судна, нормалізуюче перетворення Джонсона, інтервальна арифметика.

### References

Archibald R. *Upravlenie vysokotekhnologichnymi programmami i proektami* [Management of high-tech programs and projects]. Moscow, Kompaniya AyTi; DMK Press, 2004. 472 p.

Bakharev B.V., Kovalev A.E. Optimizatsiya normalizuyushchego preobrazovaniya puassonovskogo protsessa dlya otsenki doveritelnogo intervala nesluchaynogo otkloneniya [Optimization of normalizing transformation of poisson process for estimation of

confidence interval of nonrandom deviation]. *Matematicheskie zametki – Mathematical Notes*, vol. 51, issue 2, 1992, pp. 144–146.

Golenko-Ginzburg D.I. *Stokhasticheskie setevye modeli planirovaniya i upravleniya razrabotkami* [Stochastic network models of development planning and management]. Voronezh, Nauchnaya kniga Publ., 2010. 284 p.

Grey K.F., Larson E.U. *Upravlenie proektami* [Project management]. Moscow, Delo i Servis Publ., 2003. 528 p.

Kendall M. *Statisticheskie vyvody i svyazi* [Statistical inference and relationship]. Moscow, Nauka Publ., 1973. 899 p.

Kolosova Ye. V., Novikov D.A., Tsvetkov A. V. *Metodika osvoennogo obema v operativnom upravlenii proektami* [Methodology of earned value in operating project management]. Moscow, Nits Apostrof Publ., 2000. 156 p.

Prykhodko S. B. Intervalne otsiniuvannia parametriv stokhastychnykh dyferentsialnykh system na osnovi modyfikatsii uzahalnenoho metodu momentiv [Interval estimation of parameters of stochastic differential systems based on modification of generalized moments method]. *Materialy XIII Mizhnar. konf. z avtomatychnoho upravlinnia (Avtomatyka–2006) (25.09–28.09.2006)* [Materials of XIII International conference on Automatic Control (Automation 2006)]. Vinnytsia, 2007, pp. 69–75.

Prykhodko S.B. Intervalne otsiniuvannia statystychnykh momentiv nehausivskykh vypadkovykh velychyn na osnovi normalizuiuchykh peretvoren [Interval estimation of statistical moments of non-Gaussian random values based on normalizing transformations]. *Matematychni modeliuvannia – Mathematical simulation*, 2011, no. 1, issue 24, pp. 9–13.

Prikhodko S.B., Kudin O.A. Modeli i metody upravleniya vremenem v proektakh razrabotki konstruktorskoy dokumentatsii sudna [Models and methods of time management in projects of design vessel documentation development]. *Zbirnyk naukovykh prats NUK* [Collection of Scientific Publications NUS], 2011, no. 1, issue 436, pp. 149–154.

*ANSI/PMI 99-001-2004. Rukovodstvo k svodu znaniy po upravleniyu proektamy* [Guide to Body of Knowledge on Project Management. Third edition]. Project Management Institute, Inc. Four Campus Boulevard, Newtown Square, 2004. 401 p.

Fillips D., Garsia-Dias A. *Metody analiza setey* [Methods of network analysis]. Moscow, Mir Publ., 1984. 496 p.

Shokin Yu. V. *Intervalnyy analiz* [Interval Analysis]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1981. 112 p.

**Problem statement.** Vessel design engineering (DE) projects are always limited in time. While such projects carrying out there are cases of exceeding the planned duration of the works, which require changes to the project schedule. Typically, these changes lead to overtime rise or attract additional personnel and, therefore, increase the time and cost of the project. Timely detection of the work duration exceeding in the time management of vessel DE project by estimating the work duration deviations would reduce the number of changes in project schedules, which in turn would reduce the risk of exceeding their timing and cost.

Increasing the estimations reliability of work duration deviations in time management of vessel DE projects, as well as evaluation of these deviations impact on the project duration is an urgent problem that must be solved by the project managers.

#### **Analysis of the recent research and publications.**

The method PERT (*Project Evaluation and Review Technique*) is used as well as *Earned Value Technique* while time management of the vessels DE projects [1, 4, 10, 11].

The disadvantages of the PERT method are as follows: the use of the averages for the evaluation and work duration dispersion of the  $\beta$  distribution, which does not

**Постановка проблемы.** Проекты разработки конструкторской документации (КД) судов всегда ограничены по времени. В процессе выполнения таких проектов наблюдаются случаи превышения плановой продолжительности работ, которые требуют внесения изменений в расписание проекта. Как правило, подобные изменения приводят к увеличению объема сверхурочных работ или к привлечению дополнительного персонала и, соответственно, увеличивают время и стоимость проекта. Своевременное выявление тенденций превышения продолжительности работ при управлении временем проектов разработки КД судов путем оценивания отклонений продолжительности работ позволило бы уменьшить количество изменений расписания проектов, что, в свою очередь, снизило бы риски превышения их сроков и стоимости.

Повышение достоверности оценок отклонений продолжительности работ при управлении временем в проектах разработки КД судов, а также оценивание влияния этих отклонений на время выполнения проекта является актуальной задачей, которую приходится решать менеджерам проектов.

**Анализ последних исследований и публикаций.** При управлении временем проектов разработки КД судов наряду с методом PERT (*Project Evaluation and Review Technique*) применяется *метод освоенного объема* (Earned Value Technique) [1, 4, 10, 11].

always correspond to the real data [3, 9], as well as the use of point estimates of the average and work duration dispersion, which are known to be less reliable than the interval estimates [5].

The disadvantages of earned value method can include the use of rough estimates of the work to meet deadlines with a low reliability [1, 6]. In the method control parameters there is no information on the effect of work duration deviations on the critical path of the project. Deviations from the planned work duration show a change in the flow of funds, but not in time. While parameters converting, which reflect the current state of the project in terms of cost, within the parameters expressed in units of time, it is practically impossible to obtain information on the coincidence, advancing or lagging of the current schedule comparing to the planned work schedules.

The a method of comparing the planned network project schedule with the actual network schedule is more reliable method of control and time management of the projects, comparing to the method of PERT and earned value method [1, 3, 4]. This results in estimates of the work duration deviation in the form of point estimates with a sign. Negative values of the work duration deviations indicate the advancing of the project schedule, and positive values — lagging behind the project schedule. Such estimates can be used for projects with determined duration of works.

The essential difference between the vessel DE development projects is the presence of random values of the work duration with non-Gaussian distribution law [9]. This creates difficulties in finding interval estimates as well as of the work duration and work duration deviations.

Currently, methods of the confidence intervals determination are well designed for random variables with normal distribution. For non-Gaussian random variables determining the confidence interval is known or for individual distributions, in particular Poisson [2] or Johnson [7, 8].

In the case of an unknown law of the random variable, which is the case in vessel DE projects, we can determine the confidence limits by means of nonparametric methods or by normalization of the random variable with the help of normalizing transformations, such as Johnson, the Box–Cox (Box–Cox) [8].

Therefore, interval estimates of the work duration deviation in vessel DE projects can be obtained using interval estimates the work duration, determined by applying normalizing transformations [12].

**WORK OBJECTIVE** — show the possibility of using interval estimation of the work duration deviations

Недостатками метода PERT являются использование для оценки среднего и дисперсии продолжительности работы  $\beta$ -распределения, что не всегда соответствует реальным данным [3, 9], а также применение точечных оценок среднего и дисперсии продолжительности работ, которые, как известно, менее достоверны, чем интервальные оценки [5].

К недостаткам метода освоенного объема можно отнести использование грубых оценок соблюдения сроков работ с низкой достоверностью [1, 6]. В контрольных параметрах метода отсутствует информация о влиянии отклонений продолжительности работ на критический путь проекта. Отклонения от запланированной продолжительности работ показывают изменения в движении финансовых потоков, а не во времени. При преобразовании параметров, отражающих текущее состояние проекта в стоимостных единицах, в параметры, выраженные в единицах времени, практически невозможно получить информацию о совпадении, опережении или отставании реального расписания работ от планового расписания.

Более достоверным методом контроля и управления временем проектов, по сравнению с методом PERT и методом освоенного объема, является метод сравнения планового сетевого графика проекта с фактическим сетевым графиком [1, 3, 4]. В результате получают оценки отклонений продолжительности работ в виде точечных оценок со знаком. Отрицательные значения отклонений продолжительности работ указывают на опережение расписания проекта, а положительные значения — на отставание от расписания проекта. Такие оценки можно применять для проектов с детерминированной продолжительностью работ.

Существенным отличием проектов разработки КД судов является наличие случайных значений продолжительности работ с негауссовским законом распределения [9]. Это создает трудности при нахождении интервальных оценок как продолжительности работ, так и отклонений продолжительности работ.

В настоящее время методы определения доверительных интервалов хорошо разработаны для случайных величин с нормальным законом распределения. Для негауссовских случайных величин определение доверительного интервала известно либо для отдельных распределений, в частности пуассоновского [2], либо Джонсона [7, 8].

В случае неизвестного закона распределения случайной величины, что имеет место в проектах разработки КД судов, можно определить доверительные интервалы непараметрическими методами или путем нормализации случайной величины с помощью нормализующих преобразований, например Джонсона, Бокса–Кокса (Box–Cox) [8].

Следовательно, интервальные оценки отклонений продолжительности работ в проектах разработки КД судна можно получить, используя интервальные оценки продолжительности работ, определенные на основе применения нормализующих преобразований [12].



on the basis of normalizing transformations for time management of the vessel DE projects. This will increase the reliability of the estimates and reduce the likelihood of exceeding the time and cost of projects.

**Basic material statement.** The process of the time management of the vessel DE project can be represented as a diagram of feedback control (see Fig. 1), where the DM — the decision-maker. Often the project manager acts as the decision-maker.

The monitoring of deviations of actual work duration is carried out while the project execution. Using the recommendations in the form of interval estimates of the work duration deviations, the decision maker decides to change the project schedule in order to reduce the risks associated with exceeding the project period.

The planned schedule of the vessel DE project represented as a network diagram (network model "work sites"), is a reference schedule for the control deviation of the actual work duration. The reasons for these deviations may be as follows: a time delay while the source data transmitting in order to adjust the 3D-model of the ship and working drawings release; unplanned changes in the parameters of units, assemblies or vessel components; insufficient level of scientific expertise in estimating the work duration and preparation of the project schedule network and others.

The list of causes of the work duration deviations in the vessel DE projects is constantly expanding. The set of causes varies from project to project and, as a rule, the

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ** — показать возможность применения интервального оценивания отклонений продолжительности работ на основе нормализующих преобразований для управления временем проектов разработки КД судов. Это позволит повысить достоверность оценок и уменьшить вероятность превышения времени и стоимости проектов.

**Изложение основного материала.** Процесс управления временем проекта разработки КД судна можно представить в виде схемы управления с обратной связью (рис. 1), где ЛППР — лицо, принимающее решение. Чаще всего в роли ЛППР выступает менеджер проекта.

В процессе выполнения проекта проводится контроль отклонений фактической продолжительности работ. Используя рекомендации в виде интервальных оценок отклонений продолжительности работ, ЛППР принимает решение об изменении расписания проекта с целью уменьшения рисков, связанных с превышением сроков проекта.

Плановое расписание проекта разработки КД судна, представленное в виде сетевого графика (сетевой модели «работы в узлах»), является эталонным расписанием для контроля отклонений фактической продолжительности работ. Причинами этих отклонений могут быть: задержки по времени при передаче исходных данных для корректировки 3D-модели судна и выпуска рабочих чертежей; незапланированные изменения параметров узлов, агрегатов или элементов судна; недостаточный уровень компетентности экспертов при оценивании продолжительности работ и составлении сетевого графика проекта и др.

Перечень причин отклонений продолжительности работ в проектах разработки КД судов постоянно

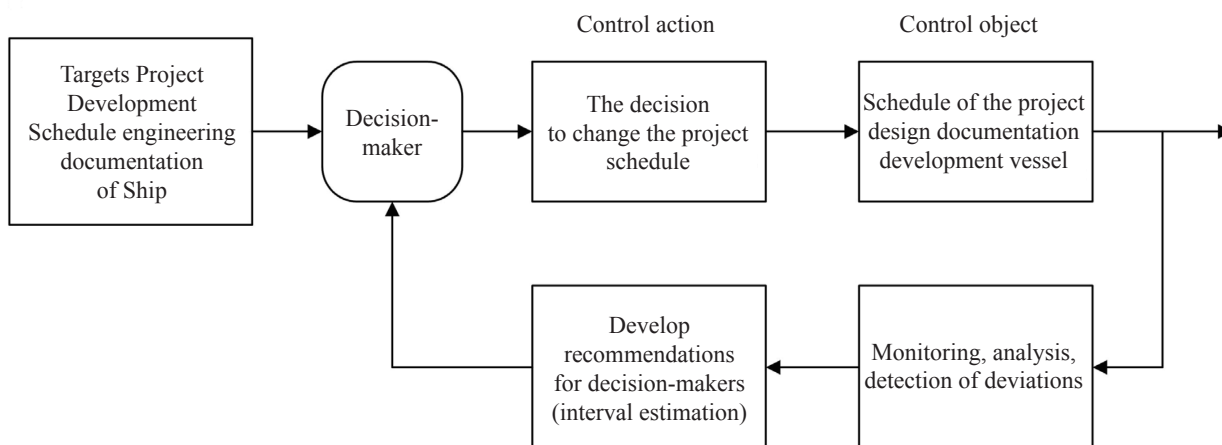


Fig. 1. Scheme of the Time Management of the Vessel DE Project:

Рис. 1. Схема управления временем проекта разработки КД судна:

*Targets Project Development Schedule engineering documentation of Ship* — плановое расписание проекта разработки конструкторской документации судна; *decision-maker* — лицо, принимающее решение (ЛППР); *the decision to change the project schedule* — принятие решения об изменении расписания проекта; *schedule of the project design documentation development vessel* — расписание проекта разработки конструкторской документации судна; *develop recommendations for decision-makers (interval estimation)* — разработка рекомендаций для ЛППР (интервальное оценивание); *monitoring, analysis, detection of deviations* — контроль, анализ, выявление отклонений; *control action* — управляющее воздействие; *control object* — объект управления

causes don't repeat. This greatly complicates the classification of causes of the work duration deviations, to obtain reliable estimates of their prediction and the actual timing of the project.

One way to solve these problems is to use confidence intervals estimates of the average duration of work derived from normalizing transformations, rather than point estimates derived from  $\beta$  distribution according to the method PERT. It was shown in the work [9] that for the vessel DE projects it is preferably to use the Johnson normalizing transformation.

In the general case Johnson transformation is as follows

$$z = \gamma + \eta \cdot q(x, \varphi, \lambda), \quad \eta > 0, \quad -\infty < \gamma < \infty, \\ \lambda > 0, \quad -\infty < \varphi < \infty,$$

where  $q$  — arbitrary function;  $\gamma, \eta, \varphi$  and  $\lambda$  — transformation parameters;  $z$  — normed random variable, distributed according to the normal law. Three classes of functions  $q$  are applied for Johnson transformation:

$$q_1(x; \varphi, \lambda) = \ln\left(\frac{x - \varphi}{\lambda}\right), \quad x > \varphi \text{ (class } S_L);$$

$$q_2(x; \varphi, \lambda) = \ln\left(\frac{x - \varphi}{\lambda + \varphi - x}\right), \quad \varphi < x < \varphi + \lambda \text{ (class } S_B);$$

$$q_3(x; \varphi, \lambda) = \text{Arsh}\left(\frac{x - \varphi}{\lambda}\right), \quad -\infty < x < \infty \text{ (class } S_U).$$

Selection of the Johnson class of transformation for the experimental data is performed in two stages.

1. According to the values of the squared skewness and measure of kurtosis the appropriate Johnson transformation class is chosen. The domain of the Johnson class distribution in the plane ( $A^2, E$ ;  $A$  — sample skewness,  $E$  — sample kurtosis) is given in [5].

2. The parameters' estimates of the selected Johnson class transformation are defined [9].

During the project planning (based on normalizing transformations) the confidence intervals of the average work duration in previous projects are determined. In this case, each network model unit can be described as a tuple

$$W_i = \langle w_i, [t_i, \bar{t}_i] \rangle, \quad (1)$$

where  $w_i$  — code of the  $i$  work;  $[t_i, \bar{t}_i]$  — interval estimate of the planned  $i$  work duration, got on the basis of Johnson normalizing transformations. While monitoring the actual work duration ( $t_{fi}$ ) and interval estimation of the actual  $i$  work duration deviations  $[\underline{\Delta t}_i, \overline{\Delta t}_i]$ , got by means of the interval arithmetic rules, is determined

$$[\underline{\Delta t}_i, \overline{\Delta t}_i] = [t_i, \bar{t}_i] - t_{fi}.$$

расширяется, а набор причин изменяется от проекта к проекту и, как правило, не повторяется. Это сильно усложняет классификацию причин отклонений продолжительности работ, получение достоверных оценок их и прогнозирование фактических сроков выполнения проекта.

Одним из способов преодоления описанных трудностей может быть использование оценок доверительных интервалов средней продолжительности работ, полученных на основе нормализующих преобразований, вместо точечных оценок, полученных на основе  $\beta$ -распределения по методу PERT. В работе [9] было показано, что для проектов разработки КД судов наиболее предпочтительно применение нормализующего преобразования Джонсона.

В общем случае преобразование Джонсона имеет вид

$$z = \gamma + \eta \cdot q(x, \varphi, \lambda), \quad \eta > 0, \quad -\infty < \gamma < \infty, \\ \lambda > 0, \quad -\infty < \varphi < \infty,$$

где  $q$  — произвольная функция;  $\gamma, \eta, \varphi$  и  $\lambda$  — параметры преобразования;  $z$  — нормированная случайная величина, распределенная по нормальному закону. Для преобразования Джонсона применяются три семейства функций  $q$ :

$$q_1(x; \varphi, \lambda) = \ln\left(\frac{x - \varphi}{\lambda}\right), \quad x > \varphi \text{ (семейство } S_L);$$

$$q_2(x; \varphi, \lambda) = \ln\left(\frac{x - \varphi}{\lambda + \varphi - x}\right), \quad \varphi < x < \varphi + \lambda \text{ (семейство } S_B);$$

$$q_3(x; \varphi, \lambda) = \text{Arsh}\left(\frac{x - \varphi}{\lambda}\right), \quad -\infty < x < \infty \text{ (семейство } S_U).$$

Подбор семейства преобразования Джонсона для совокупности экспериментальных данных выполняется в два этапа.

1. По значениям асимметрии в квадрате и эксцесса выбирается соответствующее семейство преобразования Джонсона. Область определения семейства распределения Джонсона в плоскости ( $A^2, E$ ;  $A$  — асимметрия выборки,  $E$  — эксцесс выборки) приведена в [5].

2. Определяются оценки параметров выбранного семейства преобразования Джонсона [9].

При планировании проекта определяются (на основе нормализующих преобразований) доверительные интервалы средней продолжительности работ в предыдущих проектах. В этом случае каждый узел сетевой модели можно описать в виде кортежа

$$W_i = \langle w_i, [t_i, \bar{t}_i] \rangle, \quad (1)$$

где  $w_i$  — код  $i$ -й работы;  $[t_i, \bar{t}_i]$  — интервальная оценка плановой продолжительности  $i$ -й работы, полученная на основании нормализующих преобразований Джонсона. В процессе мониторинга определяются фактическая продолжительность работы ( $t_{fi}$ ) и интервальная оценка отклонения фактической продолжительности  $i$ -й работы  $[\underline{\Delta t}_i, \overline{\Delta t}_i]$ , полученная на основе правил интервальной арифметики:

In the current case the tuple (1) will be as follows:

$$W_i = \left\langle w_i, [t_i, \bar{t}_i], t_{fi}, [\Delta t_i, \bar{\Delta t}_i] \right\rangle. \quad (2)$$

Interval estimates of work duration deviations in the vessel DE projects can be of three types.

*Interval estimates of the first type deviations* have positive values of the lower and upper interval borders:

$$\Delta t_i > 0 \wedge \bar{\Delta t}_i > 0.$$

They show that the work is going ahead of schedule. In the vessel DE projects the interval estimates of the work duration deviations of the first type may indicate a low reliability of the average work duration estimates.

*Interval estimates of the second type deviations* have a negative value of the lower border and positive of the upper border:

$$\Delta t_i < 0 \wedge \bar{\Delta t}_i > 0.$$

They show the normal performance of works and that the change in the project schedule is not required.

*Interval estimates of the third type deviations* have a negative value of the lower border and the negative of the upper border:

$$\Delta t_i < 0 \wedge \bar{\Delta t}_i < 0.$$

They show the lag of the project schedule and may lead to failure of the project life. This type of interval estimates of the work duration deviations always requires some changes in the project schedule.

Reliability of the estimates of the work duration deviations in the working vessel projects can be improved by the introduction to the tuple (2) of an additional parameter, characterizing the work execution status. This parameter can be called the coefficient of the work performance. The tuple (2) takes the following form:

$$W_i = \left\langle w_i, [t_{pi}, \bar{t}_{pi}], t_{fi}, [\Delta t_i, \bar{\Delta t}_i], k_i \right\rangle, \quad (3)$$

where  $k_i$  — the work performance coefficient.

As a general rule, to obtain the exact values of the performance coefficient is difficult because the methods of the design works standardization are not developed. Most often the design work performance is evaluated empirically as a confirmed percentage of the work completion, or in the form of the control events of the  $i$  work of the working vessel project. One of possible variants of the list events is shown in Table 1.

In case of  $k_i = 0,25 \dots 1,0$  and interval estimates of the work duration deviations of the first type the project manager records the fact of saving resources for their use in other works of the project.

$$[\Delta t_i, \bar{\Delta t}_i] = [t_i, \bar{t}_i] - t_{fi}.$$

В этом случае кортеж (1) примет вид

$$W_i = \left\langle w_i, [t_i, \bar{t}_i], t_{fi}, [\Delta t_i, \bar{\Delta t}_i] \right\rangle. \quad (2)$$

Интервальные оценки отклонений продолжительности работ в проектах разработки КД судна могут быть трех типов.

*Интервальные оценки отклонений первого типа* имеют положительные значения нижней и верхней границы интервала:

$$\Delta t_i > 0 \wedge \bar{\Delta t}_i > 0.$$

Они показывают, что работы идут с опережением плана. В проектах разработки КД судна интервальные оценки отклонений продолжительности работ первого типа могут указывать на низкую достоверность оценок средней продолжительности работ.

*Интервальные оценки отклонений второго типа* имеют отрицательное значение нижней границы и положительное — верхней:

$$\Delta t_i < 0 \wedge \bar{\Delta t}_i > 0.$$

Они сигнализируют о нормальном выполнении работ и не требуют изменения расписания проекта.

*Интервальные оценки отклонений третьего типа* имеют отрицательное значение нижней границы и отрицательное — верхней:

$$\Delta t_i < 0 \wedge \bar{\Delta t}_i < 0.$$

Они сигнализируют об отставании от расписания проекта и могут привести к срыву сроков проекта. Этот тип интервальных оценок отклонений продолжительности работ всегда требует изменения расписания проекта.

Достоверность оценок отклонений продолжительности работ в рабочих проектах судна можно повысить путем введения в кортеж (2) дополнительного параметра, характеризующего состояние выполнения работы. Этот параметр можно назвать коэффициентом выполнения работы. Кортеж (2) примет следующий вид:

$$W_i = \left\langle w_i, [t_{pi}, \bar{t}_{pi}], t_{fi}, [\Delta t_i, \bar{\Delta t}_i], k_i \right\rangle, \quad (3)$$

где  $k_i$  — коэффициент выполнения работы.

Как правило, получить точные значения коэффициента выполнения работы сложно, так как до сих пор не разработаны методы нормирования конструкторских работ. Чаще всего выполнение конструкторской работы оценивают эмпирически в виде подтвержденного процента выполнения работы либо в виде контрольных событий  $i$ -й работы рабочего проекта судна. Один из возможных вариантов перечня контрольных событий приведен в табл. 1.

При значениях  $k_i = 0,25 \dots 1,0$  и интервальных оценках отклонений продолжительности работ первого типа менеджер проекта фиксирует факт экономии ресурсов для использования в других работах проекта.

Table 1

Таблица 1

№	Performance coefficient Коэффициент выполнения работы	Explanation / Пояснение
1	0	The work is not started / Работа не начата
2	0.25	The basic design data are given. The design engineering is started / Основные исходные данные получены. Начата разработка документации
3	0.50	All the design data are got. The documentation is ready for technical and regulatory inspection / Все исходные данные получены. Документация подготовлена для технического и нормативного контроля
4	0.75	All the mistakes, detected while the technical and regulatory inspection, are corrected. The documentation is ready for the repeat technical and regulatory inspection / Все ошибки, выявленные при техническом и нормативном контроле, устранены. Документация готова для повторного технического и нормативного контроля
5	1.00	The documentation passes the technical and regulatory inspection and is approved by the Chief Engineer / Документация прошла технический и нормативный контроль и утверждена главным конструктором

In case of  $k_i = 0,25...0,75$  and interval estimates of the work duration deviations of the second type the project manager records the fact of the normal schedule execution of works.

In case of  $k_i = 0,25...1,0$  and interval estimates of the work duration deviations of the third type the project manager records the fact of the excess of the planned work duration and takes urgent measures to modify the project schedule.

The results of the interval estimation of the work duration and work duration deviations for the fragment of the container carrier DE project network schedule (see Fig. 2) are shown in the Table 2.

The confidence intervals for the work duration are found on the basis of the Johnson transformation class SB. Interval estimates of the work duration deviations are got according to the rules of interval arithmetic.

The following chain  $H \rightarrow A1 \rightarrow A4 \rightarrow A6 \rightarrow K$  is a critical path of the schedule network. Work performance coefficient in the Table 2 is equal to 1 for all the works, as we used data of the completed project.

При  $k_i = 0,25...0,75$  и интервальных оценках отклонений продолжительности работ второго типа менеджер проекта фиксирует факт нормального выполнения расписания работ.

При  $k_i = 0,25...1,0$  и интервальных оценках отклонений продолжительности работ третьего типа менеджер проекта фиксирует факт превышения плановой продолжительности работы и принимает срочные меры по изменению расписания проекта.

Результаты интервального оценивания продолжительности работ и отклонений продолжительности работ для фрагмента сетевого графика проекта разработки КД контейнеровоза (рис. 2) приведены в табл. 2.

Доверительные интервалы продолжительности работ найдены на основе преобразования Джонсона семейства SB. Интервальные оценки отклонений продолжительности работ получены по правилам интервальной арифметики.

Критическим путем сетевого графика является цепочка  $H \rightarrow A1 \rightarrow A4 \rightarrow A6 \rightarrow K$ . Коэффициент выполнения работ в табл. 2 равен 1 для всех работ, так как использовались данные завершеного проекта.

Отклонения продолжительности работ A1, A3 и A6 (см. табл. 2) относятся ко второму типу, следовательно, эти работы не выходят за рамки плановых параметров и не влияют на расписание проекта.

Table 2

Таблица 2

$w_i$	$[t_i^-, t_i^+]$	$t_f$	$[\Delta t_i^-, \Delta t_i^+]$	$k_i$
A1	[20,30]	28	[-8, 2]	1
A2	[16,24]	32	[-16, -8]	1
A3	[24,36]	34	[-10, 2]	1
A4	[40,56]	64	[-24, -8]	1
A5	[24,32]	34	[-10, -2]	1
A6	[64,80]	72	[-6, 8]	1

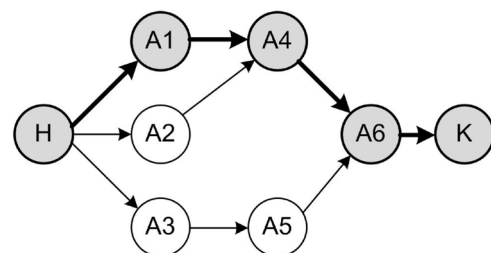


Fig. 2. Fragment of the Container Carrier DE Project Network Schedule

Рис. 2. Фрагмент сетевого графика проекта разработки КД контейнеровоза



The work duration deviations A1, A3 and A6 (see. Table 2) belong to the second type, therefore, these works do not go beyond the planned parameters and do not affect the project schedule.

The work duration deviations A2, A4, and A5 belong to the third type, and may lead to increase of the project life. First it is necessary for the project manager to pay attention to the operation of A4, as it is on the critical path and can definitely increase the project time. The assessment of the works A2 and A5 impact on the increase of the project time can be determined using additional calculations.

In this case, it is clear that managing influences of the decision-maker (with high confidence) should be directed primarily on the A4 work influence neutralization. Consequently, the interval estimation of the work duration deviations can improve the accuracy of detection of the critical points with the project time excess and quickly neutralize their negative impact.

### CONCLUSION

Application of the interval estimation of the work duration deviations on the basis of the Johnson normalizing transformation and interval arithmetic for the time management in the vessel DE projects can improve the accuracy of the work duration deviations estimation, can help to make grounded decisions to modify the schedule of the vessel DE projects and decrease the risks of exceeding the project life.

Отклонения продолжительности работ A2, A4 и A5 относятся к третьему типу и могут привести к увеличению сроков проекта. В первую очередь менеджеру проекта необходимо обратить внимание на работу A4, так как она находится на критическом пути и однозначно может увеличить время проекта. Оценку влияния работ A2 и A5 на увеличение времени проекта можно определить с помощью дополнительных расчетов.

В данном случае видно, что управляющие воздействия ЛПР (с высокой степенью достоверности) должны быть направлены в первую очередь на нейтрализацию влияния работы A4. Следовательно, интервальное оценивание отклонений продолжительности работ позволяет повысить достоверность выявления критических точек с превышением времени проекта и оперативно нейтрализовать их отрицательное влияние.

**ВЫВОДЫ.** Применение интервального оценивания отклонения продолжительности работ на основе нормализующего преобразования Джонсона и интервальной арифметики для управления временем в проектах разработки КД судов позволяет повысить достоверность оценивания отклонений продолжительности работ, принимать обоснованные решения по изменению расписания проектов разработки КД судов и уменьшить риски превышения сроков проектов.

### Список литературы

- [1] **Арчибальд, Р.** Управление высокотехнологичными программами и проектами [Текст] / Рассел Д. Арчибальд ; пер. с англ. Е. В. Мамонтова ; под ред. А. Д. Баженова, А. О. Арефьева. — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Компания АйТи; ДМК Пресс, 2004. — 472 с.
- [2] **Бахарев, Б. В.** Оптимизация нормализующего преобразования пуассоновского процесса для оценки доверительного интервала неслучайного отклонения [Текст] / Б. В. Бахарев, А. Э. Ковалев // Математические заметки. — 1992. — Т. 51, Вып. 2. — С. 144–146.
- [3] **Голенко-Гинзбург, Д. И.** Стохастические сетевые модели планирования и управления разработками [Текст] : монография / Д. И. Голенко-Гинзбург. — Воронеж : Научная книга, 2010. — 284 с.
- [4] **Грей, К. Ф.** Управление проектами [Текст] : практ. рук. : [пер. с англ.] / К. Ф. Грей, Э. У. Ларсон. — М. : Изд-во «Дело и Сервис», 2003. — 528 с.
- [5] **Кендалл, М.** Статистические выводы и связи [Текст] / М. Кендалл, А. Стьюарт. — М. : Наука, 1973. — 899 с.
- [6] **Колосова, Е. В.** Методика освоенного объема в оперативном управлении проектами [Текст] / Е. В. Колосова, Д. А. Новиков, А. В. Цветкова. — М. : ООО «НИЦ АПОСТРОФ», 2000. — 156 с.
- [7] **Приходько, С. Б.** Інтервальне оцінювання параметрів стохастичних диференціальних систем на основі модифікації узагальненого методу моментів [Текст] / С. Б. Приходько // Матеріали XIII Міжнар. конф. з автоматичного управління (Автоматика – 2006), м. Вінниця, 25–28 вересня 2006 р. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. — С. 69–75.
- [8] **Приходько, С. Б.** Інтервальне оцінювання статистичних моментів негаусівських випадкових величин на основі нормалізуючих перетворень [Текст] / С. Б. Приходько // Математичне моделювання : наук. журнал. — Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2011. — № 1(24). — С. 9–13.
- [9] **Приходько, С. Б.** Модели и методы управления временем в проектах разработки конструкторской документации судна [Текст] / С. Б. Приходько, О. А. Кудин // 36. наук. праць НУК. — Миколаїв : НУК, 2011. — № 1 (436). — С. 149–154.
- [10] **Стандарт ANSI/PMI 99-001-2004.** Руководство к своду знаний по управлению проектами. Третье издание (Руководство РМБОК) [Текст] / издатель : Project Management Institute, Inc. — 2004. — Four Campus Boulevard, Newtown Square, PA 19073-3299 USA / США. — 401 с.
- [11] **Филлипс, Д.** Методы анализа сетей [Текст] / Д. Филипс, А. Гарсиа Диас ; [пер. с англ.]. — М. : Мир, 1984. — 496 с.
- [12] **Шокин, Ю. В.** Интервальный анализ [Текст] / Ю. В. Шокин. — Новосибирск : Наука, 1981. — 112 с.

© С. Б. Приходько, О. А. Кудин

Статью рекомендует в печать  
д-р техн. наук, проф. К. В. Кошкин