

УДК 69.057:658.513.4

УЧЕТ ВЕРОЯТНОСТИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ РАБОТ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНА

ТКАЧ Т. В.,¹ *ас.*,
МЛОДЕЦКИЙ В. Р.,² *д.т.н., проф.*,
МАРТЫШ А. А.,³ *к.т.н., доц.*

¹ Кафедра планирования и организации производства. Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 756-33-66, e-mail: 380962313579@yandex.ua. ORCID ID: 0000-0002-9433-7514

² Кафедра менеджмента, управления проектами и логистики. Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (050) 342-20-24, e-mail: v.mlodecki@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-0871-2128

³ Кафедра планирования и организации производства. Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 756-33-66, e-mail: martysh_oleksandr@mail.ru. ORCID ID: 0000-0002-8864-255

Аннотация. *Цель.* Проанализировать существующие способы описания и моделирования процесса выполнения строительно-монтажных работ, а также выявить этапы проектирования, на которых можно увеличить точность расчетов. В статье рассматриваются факторы, которые влияют на планируемое время выполнения строительно-монтажной работы в составе календарного плана. *Методика.* В основе методики лежит подход, согласно которому время завершения некоторого объема работ является производным от интенсивности выполнения работ. Предложена методика изображения работ в календарном плане с помощью всеерной функции, показывающей нарастание неопределенности с течением времени. Разработана и описана методика расчета поточной организации работ с учетом вероятности завершения работ к тому или иному сроку. Описаны наиболее типичные случаи взаимовязанных работ в календарном плане, выполненном по данной методике. *Результаты.* Установлено, что предложенный в статье подход позволяет нивелировать противоречие между вероятностной природой реальных процессов и детерминированными методами их описания. Так как наличие только детерминированного результата расчета значения некоторого параметра, по которому оценивается состояние реального процесса, явно недостаточно, так как остается неопределенным его место в возможном диапазоне значений от минимального к максимальному. *Научная новизна и практическая значимость.* Изложенная методика исследования посвящена календарному планированию и решению научно-прикладной задачи повышения надежности планирования и реализации календарных планов. Особенность календарного планирования состоит в том, что производственные процессы и условия, определяющие показатели эффективности, находятся в будущем, и прогнозирование их значений может осуществляться исследователем только с определенным уровнем вероятности. Поэтому, расчет календарных планов с учетом вероятностной природы их выполнения позволяет получить, хотя порой и более пессимистические, но в то же время более достоверные по вероятности достижения результаты.

Ключевые слова: календарное планирование, организационно-технологическая надежность, интенсивность работ

ВРАХУВАННЯ ЙМОВІРНОСТІ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ТРИВАЛОСТІ РОБІТ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНУ

ТКАЧ Т. В.,^{1*} *ас.*,
МЛОДЕЦЬКИЙ В. Р.,^{2*} *д.т.н., проф.*,
МАРТИШ О. О.,^{3*} *к.т.н., доц.*

^{1*} Кафедра планування і організації виробництва. Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 756-33-66, e-mail: 380962313579@yandex.ua. ORCID ID: 0000-0002-9433-7514

^{2*} Кафедра менеджменту, управління проектами і логістики, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (050) 342-20-24, e-mail: v.mlodecki@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-0871-2128

^{3*} Кафедра планування і організації виробництва, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 756-33-66, e-mail: martysh_oleksandr@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-8864-2555

Анотация. *Мета.* Проаналізувати існуючі способи опису і моделювання процесу виконання будівельно-монтажних робіт, а також виявити етапи проектування, на яких можна збільшити точність розрахунків. У статті розглядаються фактори, які впливають на плановий час виконання будівельно-монтажної роботи у складі календарного плану. *Методика.* В основі

методики лежить підхід, згідно з яким час завершення деякого обсягу робіт є похідним від інтенсивності виконання робіт. Запропоновано методику зображення робіт в календарному плані за допомогою віялової функції, яка б показала наростання невизначеності з плином часу. Розроблена і описана методика розрахунку потокової організації робіт з урахуванням ймовірності завершення робіт до того чи іншого терміну. Описані найбільш типові випадки взаємно ув'язаних робіт в календарному плані, виконаному за даною методикою. **Результати.** Встановлено, що запропонований у статті підхід дозволяє нівелювати протиріччя між ймовірнісною природою реальних процесів і детермінованими методами їх опису. Адже наявність тільки детермінованого результату розрахунку значення деякого параметра, за яким оцінюється стан реального процесу, явно не достатньо, тому що залишається невизначеним його місце в можливому діапазоні значень від мінімального до максимального. **Наукова новизна та практична значимість.** Викладена методика дослідження присвячене календарному плануванню та вирішенню науково-прикладної задачі підвищення надійності реалізації календарних планів. Особливість календарного планування полягає в тому, що виробничі процеси та умови, що визначають показники ефективності, знаходяться в майбутньому, і прогнозування їх значень може здійснюватися дослідником тільки з певним рівнем ймовірності. Тому розрахунок календарних планів з урахуванням ймовірнісної природи їх виконання дозволяє отримати хоча часом і більш песимістичні, але в той же час більш достовірні по ймовірності досягнення результату.

Ключові слова: календарне планування, організаційно-технологічна надійність, інтенсивність робіт

ACCOUNTING A PROBABILITY FACTOR DURING DETERMINING THE LENGTH OF SCHEDULE WORKS

TKACH T. V.,^{1*} *Assistant Prof.*,
MLODETSKIY V. R.,² *D.Sc. in Tech., Prof.*,
MARTYSH A. A.,³ *Cand.sc. (tech.), Associate Prof.*

¹ Department of Construction technology, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-66, e-mail: 380962313579@yandex.ua. ORCID ID: 0000-0002-9433-7514

² Department of Management, project management and logistic, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (050) 342-20-24, e-mail: v.mlodecki@i.ua. ORCID ID: 0000-0003-0871-2128

³ Department of Construction technology, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-66, e-mail: martysh_oleksandr@mail.ru. ORCID ID: 0000-0002-8864-2555

Summary. Purpose. To analyse the existent methods of description and design of building and installation works implementation process, and also to reduce the planning stages on which it is possible to increase calculations exactness. Article discusses the factors that affect the estimated time of performing any construction and assembly operations in the schedule. **Methodology.** The method is based on the approach that the completion time of a scope of work is derived from the performance of a performer and the work intensity. According this method, any planned work in the schedule is shown as "fan" function, which allows to see an increase of uncertainty over time. The thesis describes a calculation method of the work organization taking into account such uncertainty. We describe the most typical cases of interlinkages between works in the calendar plan, performed by the proposed method. **Results.** The proposed approach allows to neutralize the contradiction between the probabilistic nature of real processes and deterministic methods of their description. The presence of the of the determined value of a parameter only is not enough, because it is uncertain its position in the possible range of values from the minimum to the maximum. **Scientific novelty and practical significance.** The expounded methodology of research is devoted to scheduling and solving scientific problem of improving the reliability of the planning and schedule implementation. Manufacturing processes and conditions defining the performance indicators are in the future, and prediction (forecasting) of their values can be done only with a certain level of probability. Therefore, schedules based on probabilistic nature of their performance, allows you to get even more pessimistic values, but at the same time more reliable probability of achievement.

Keywords: scheduling, organizational and technological reliability, intensity of work

Введение

Строительство представляет собой сложную систему, значения параметров которой постоянно изменяются во времени и зависят от огромного количества факторов. Успешная реализация строительного проекта заключается в достижении поставленных целей: завершение строительства в

срок, выполнение запланированных объемов работ, оптимальное ресурсораспределение, получение качественной строительной продукции.

Организационно-технологическая надежность строительства, определяет способность строительной организации достигать поставленных целей при заданных входных параметрах, в частности, количественного и квалификационного уровня

рабочих в бригаде, исправной работы машин и механизмов, качества производства работ и качества строительных материалов, а также своевременности их поставки на строительную площадку и пр. Организационно-технологическая надежность является показателем надежности строительного производства как критерия надежности конечных результатов [1- 4, 7, 8].

Необходимый уровень организационно-технологической надежности достигается путем учета и контроля изменений, происходящих со всеми параметрами календарного плана и его корректировки в зависимости от этих изменений. Причины, влияющие на изменение параметров календарного плана, могут быть как внутренними, связанными с организацией работы, ошибками в проектных решениях, так и внешними, например, неблагоприятные природно-климатические условия, которые практически невозможно заранее прогнозировать.

Исследователями [5, 6, 9, 10] давно обращено внимание на противоречие между вероятностной природой реальных процессов и детерминированными методами их описания. Когда расчеты имеют прогнозный характер, то необходимо включать в расчет вероятностную составляющую, определяющую вероятность свершения определенного события в будущем. Это особенно касается методики построения календарных планов, так как прогнозирование показателей эффективности производственных процессов может осуществляться только с определенным уровнем вероятности.

Цель

Целью данной работы является поиск новых методик повышения надежности организационных решений при календарном планировании, анализируя существующие способы описания и моделирования процесса выполнения строительно-монтажных работ, а также выявить этапы проектирования, на которых можно увеличить точность расчетов.

Методика

В качестве исходного элемента календарной модели рассматривается процесс деятельности во времени. Для подготовки календарного плана к расчету необходимо установить продолжительность всех видов работ и их интенсивность, определить допустимые сроки начала и окончания, и обеспечить нормативную продолжительность строительства.

Продолжительность работы определяется случайной величиной. Соответственно каждая работа имеет свое ожидаемое время окончания.

Чтобы определить ожидаемое время окончания любой работы в составе календарного плана, отобразим ее через интенсивность труда исполнителей.

При известной продуктивности бригады можно узнать, за какое время бригада выполнит объемом работ. Предложенный подход несколько отличается от использования ЕНиРов и ДБНов. В ДБНах даны статистические данные о том, как много времени в человеко-часах уходит на определенный объем работы. На основании таких данных строится календарный план, но не дает возможности учитывать индивидуальные характеристики отдельных исполнителей.

Организационно-технологическая надежность календарного плана – это вероятность, с которой работы согласно этому плану будут выполнены к определенному сроку. Разработанная методика отличается от нормативной и использует иной подход к расчету продолжительности работы. Методика применима для строительных организаций, в которых числятся свои рабочие бригады и по этим бригадам есть статистика производительности или выработки. Следует проанализировать, как часто эти бригады могут выходить за рамки поставленного графика работ, и как часто им нужен дополнительный контроль для повышения надежности.

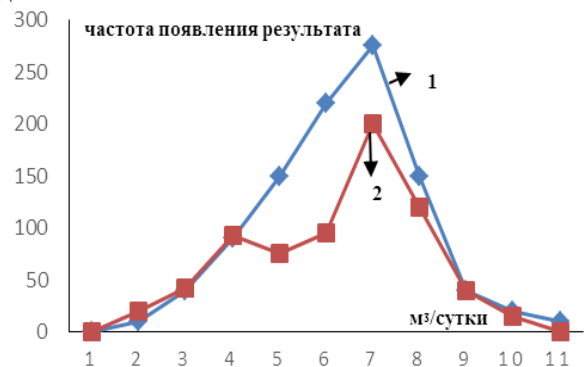


Рис. 1. Графики фактического (1) и теоретического (2) распределения вероятностей интенсивности монтажа / Actual (1) and theoretical (2) graphs of the probability distribution of the work intensity

Для расчетов используем выборку статистических данных по выработке некоего исполнителя. На основании анализа прошлых реализаций мы можем достаточно объективно установить граничные значения производительности бригады – условно назовем их оптимистической и пессимистической производительностями. Полученные данные, представив в виде графика распределения. Графически видно, что распределение симметрично и может быть описано нормальным законом распределения.

Затраченное время на любой объем работ, можно найти, используя данные максимальной и минимальной производительности исполнителя. Используя несколько значений производительности, получим и несколько значений времени выполнения работ. В итоге конечное время выполнения отдельной работы уже не будет фиксированным

усредненным значением, а будет неким интервалом значений.

Следовательно, можно получить множественные значения времени с вероятностью их появления. Множественные значения можно описать и обобщить с помощью математических распределений.

При нормальном законе распределения производительности исполнителя, сам закон распределения времени выполнения работ не обязательно будет нормальным. Из рисунка 2 видно, что в законе распределения времени окончания отдельной работы присутствует асимметрия.

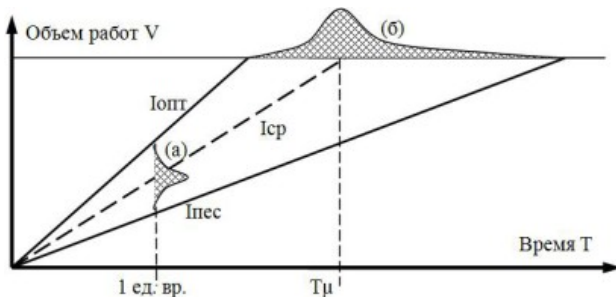


Рис. 2. Асимметрический закон распределения времени выполнения работ (б) при нормальном законе интенсивности их выполнения (а) / Asymmetric distribution of the work time (b) behind the normal distribution of the work intensity (a)

Величина асимметрии находится из геометрических уравнений, используя исходные данные, такие как производительность исполнителя. Выявлено, что асимметрия зависит от разброса значений производительности исполнителя. Асимметрия незначительна - если отношение максимальной производительности к минимальной менее чем 1,2. При расчетах её можно не учитывать, условно считая распределение времени окончания работ нормальным. Если же разброс производительности превышает величину 1,2, то необходим учет асимметрии.

Учитывая асимметрию и описания закона распределения времени окончания работ были опробованы нормальное распределение, α -распределение и β -распределение. В итоге, наиболее точно описывающим время выполнения работ оказалось α -распределение, которое и было принято для дальнейших расчетов.

В составе календарного плана каждую работу можно изобразить временным интервалом с известными вероятностными параметрами. С какой вероятностью отдельная работа будет выполнена к определенному сроку, можно установить, используя итоговую нарастающую функцию распределения. На рисунке 3 приведен пример, как с помощью итоговой функции распределения можно установить, к какому времени работы будут выполнены с вероятностью 60% или 80%. Если стремиться к большой надежности, то задаемся максимальной продолжительностью выполнения работы. Чтобы на

80 % можно было быть уверенным, что работы будут выполнены в срок, необходимо выделить на их выполнение чуть более 5 недель.

Основная траектория выполнения работ, к параметрам которой осуществляется привязка режима работы последующего частного потока, это траектория заданной надежности. Рациональный диапазон надежности в организационно-технологических процессах принимается в диапазоне 0,6...0,8, а детерминированный расчет выполняется по средним значениям интенсивностей работы, что соответствует $N=0,5$.



Рис. 3. Итоговая функция времени окончания работ / The final function of the work completion time

Повышение надежности окончания работ приводит к соответствующему увеличению продолжительности ее выполнения, а подход, основанный на учете вероятностных процессов в календарном планировании, предусматривает увеличение этих сроков по отношению к детерминированным расчетам.

Преобладание в планировании и организации строительного производства детерминированных методов расчета, что в соответствии с расчетом дают достаточно оптимистические результаты, приводит к массовому срыву как промежуточных, так и завершающих сроков строительства объектов.

В составе календарного плана при увязке работ часто встречаются временные ограничения для начала некоторых работ, при загруженном фронте работ, такие ограничения могут использовать предложенную методику расчета.

Увязка работ с условием непрерывного использования ресурсов также имеет место в данном случае. При необходимости увязать работы таким способом, как и в обычном случае, производится предварительный расчет параметров, а потом происходит их корректировка. Из рисунка 4, видно, что после перерасчета работу второго и третьего потока сдвигают на более поздние сроки для большей надежности. Как и при известных методах табличных расчетов, в которых временные параметры принимаются как величины детерминированные, узловым моментом есть взаимоувязана по срокам окончания предшествующей работы и начала последующей на

том этапе, где отмечается их критическое сближение. По условию, "начало последующей работы должно наступать не ранее завершения предшествующей", которое является универсальным для взаимоувязанных смежных работ независимо от того, на первом или каком-либо последующем этапе это критичное сближение произошло.

Задача дальнейших расчетов, согласно данной методике, заключается в получении итогового распределения времени, выполнения определенного объема работ с учетом сложной организационно-технологической взаимосвязи в составе календарного плана. Учесть в расчетах все возможное многообразие реальных ограничений по времени начала и окончания работ, а также учесть влияние каждой работы в составе календарного плана на конечное итоговое распределение.

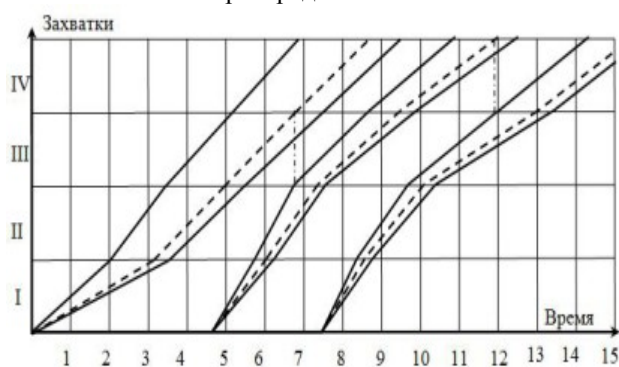


Рис. 4. Циклограмма выполнения работ с учетом вероятности окончания работ по захваткам / Work schedule, based on taking into account the probability of completing work on each object

Надежность технологических решений должна обеспечивать бесперебойное функционирование строительных процессов. При этом должен быть осуществлен выбор способов производства работ, позволяющий строительному потоку функционировать с заданными параметрами в определенных пределах несмотря на воздействие случайных производственных факторов.

Надежность организационной системы определяется вероятностью того, что в любой момент времени значения контролируемых параметров не выходят за пределы допустимых отклонений. В соответствии с положениями теории надежности, производственные системы в процессе целенаправленного функционирования могут находиться в двух состояниях: в трудоспособном и неработоспособном. Переход системы из работоспособного состояния в неработоспособное характеризуется отказом. В отличие от технических систем, в организационных системах этот переход не

является мгновенным, а плавным "параметрическим". При параметрических отказах происходит постепенное накопление негативных тенденций в системе, и задача управления состоит в выявлении устойчивых негативных тенденций на их ранней стадии появления, в результате увеличивается время для их компенсации еще до достижения предела допустимых отклонений. Таким образом, управление исключает или уменьшает вероятность появления отказа и тем самым повышает в целом надежность функционирования системы.

Для оценки надежности некоторого параметрического процесса используется коэффициент готовности. Коэффициент готовности определяется как часть времени от общего времени наблюдения, в течение которого объект находится в работоспособном состоянии. При реализации параметрического процесса чередуются случайные периоды времени работоспособного состояния и нетрудоспособного. Для процесса управления важно не только значение параметрического процесса, но и динамика нарастания неопределенности контролируемого параметра во времени. К следующему моменту управленческого влияния на процесс развивается под влиянием случайного дрейфа контролируемого параметра в пределах возможных значений. В этой связи из функции нарастания неопределенности рассчитано математическое ожидание периода трудоспособного и нетрудоспособного состояний.

Вывод

Разработана методика повышения организационно-технологической надежности строительных процессов на основе математического моделирования параметров календарного плана с учетом периодичности проявления различных факторов.

В разработанной методике лежит подход, согласно которому время завершения объема работ является не детерминированным значением, а диапазоном возможных значений, которые можно описать с помощью α -распределения.

Установлено, что рассмотренная в статье методика позволяет учитывать вероятностные факторы, которые влияют на окончательное время выполнения строительно-монтажной работы.

Предложен подход, в итоге которого расчет календарных планов с учетом реальной, вероятностной природы их выполнения, позволяет получить, хотя порой и более пессимистические, но в то же время более достоверные по вероятности достижения результаты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абдуллаев Г. И. Повышение организационно-технологической надежности строительства линейно-протяженных сооружений методом прогнозирования отказов / Г. И. Абдуллаев, В. З. Величкин, Т. Н. Солдатенко // Инженерно-строительный журнал. - 2013. - Вып. 3. - С. 43-50. - Режим доступа: http://www.engstroy.spb.ru/index_2013_03/velichkin.pdf. - Заглавие с экрана. - Проверено: 27.09.2016.

2. Анферов В. Н. Организационно-технологическая надежность эксплуатации башенных кранов. / В. Н. Анферов, С. М. Кузнецов, С. И. Васильев // Системы. Методы. Технологии. - 2013. - № 2 (18). - С. 35-41.
3. Величкин В. З. Управление и надежность реализации строительных программ / В. З. Величкин // Инженерно-строительный журнал. - 2014. - № 7. - С. 74-79.
4. Гусаков А. А. Организационно-технологическая надежность строительного производства / А. А. Гусаков. – М.: Стройиздат, 1974. – 252 с.
5. Млодецкий В. Р. Вероятностные параметры выполнения отдельной строительной-монтажной работы / В. Р. Млодецкий, А. А. Мартыш // Вестник Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры. - 2013. - № 3. - С. 8-14.
6. Млодецкий В. Р. Концепція надійності в організації будівельного виробництва / В. Р. Млодецкий, А. В. Загуменова, Н. Ю. Морошкіна // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. - 2014. - № 4. - С. 19-24.
7. Млодецкий В. Р. Организационно-технологическая и управленческая надежность функциональной системы строительной организации: автореф. дисс. д-ра техн. наук: 05.23.08 / Млодецкий Виктор Ростиславович: ГВУЗ Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры. - Днепропетровск, 2005. – Режим доступа: <http://referatu.net.ua/referats/7569/160940>. Заглавие с экрана. - Проверено: 27.09.2016.
8. Недавний О. И. Оценка организационно-технологической надежности строительства объектов / О. И. Недавний, С. В. Базилевич, С. М. Кузнецов // Журнал Системы. Методы. Технологии. - 2013. - № 2 (18). - С. 137-141.
9. Bratcu, A. I. Some new results on the analysis and simulation of bucket brigades / A. I. Bratcu, A. A. Dolgui // International Journal of Production Research, 2009, vol. 47, no. 2, pp. 369–387. – Режим доступа: www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207540802426128. Заглавие с экрана. - Проверено: 27.09.2016.
10. Min-Lan Yang. Enhancement of scheduling reliability in building project using theory of constraint / Min-Lan Yang, Tsung-Chieh-Tsai // Journal of the Operational Research, 2008, vol. 51, no. 4, pp. 284-298. – Режим доступа: http://www.orsj.or.jp/archive/pdf/e_mag/51-4-284-298.pdf. Заглавие с экрана. - Проверено: 27.09.2016.

REFERENCES

1. Abdullaev G.I., Velichkin V.Z. and Soldatenko T.N. *Povyshenie organizatsionno-tehnologicheskoy nadezhnosti stroitelstva lineynoprotyazhennykh sooruzheniy metodom prognozirovaniya otkazov* [Improving the organizational and technological reliability of linear facility building by failures predicting]. *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal*. [Magazine of civil engineering]. 2013, no. 3, pp. 43-50. Available at: http://www.engstroy.spb.ru/index_2013_03/velichkin.pdf. (in Russian).
2. Anferov V.N., Kuznetsov S.M. and Vasilev S.I. *Organizatsionno-tehnologicheskaya nadezhnost ekspluatatsii bashennykh kranov*. [Organizational and technological reliability of tower crane operations]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*. [Systems. Methods. Technologies]. 2013, no. 2, (18). pp. 35-41. (in Russian).
3. Velichkin V.Z. *Upravlenie i nadezhnost realizatsii stroitelnykh programm* [Management and reliability of construction programs implementation]. *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal*. [Magazine of civil engineering]. 2014, no. 7, - pp. 74-79. (in Russian).
4. Gusakov A.A. *Organizatsionno-tehnologicheskaya nadezhnost stroitel'nogo proizvodstva* [Organizational-technological reliability of building production]. Moscow: Stroyizdat Publ., 1974, 252 p. (in Russian).
5. Mlodetskiy V.R. and Martysh A.A. *Veroyatnostnye parametry vypolneniya otdelnoy stroitelno-montazhnoy raboty* [Probability parameters of separate construction work performing]. *Vestnik Pridneprovskoy gosudarstvennoy akademii stroitelstva i arkhitektury*. [Bulletin of Prydniprovsk State Academy of civil Engineering and architecture]. 2013, no. 3, pp. 8-14. (in Russian).
6. Mlodetskiy V.R., Zagumenova A.V. and Moroshkina N.Ju. *Kontseptsiia nadiynosti v organizatsii budivelnogo vyrobnystva* [The concept of reliability in construction production organization]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnystva ta arkhitektury*. [Bulletin of Prydniprovsk State Academy of civil Engineering and architecture]. 2014, no. 4, pp. 19-24. (in Ukrainian).
7. Mlodetskiy V.R. *Organizatsionno-tehnologicheskaya i upravlencheskaya nadezhnost funktsionalnoy sistemy stroitelnoy organizatsii*. Dokt. Diss. [Organizational-technological reliability and management of the functional system of a construction company. Dokt. Diss.]. Dnepropetrovsk, 2005, 20 p. Available at: <http://referatu.net.ua/referats/7569/160940>. (in Russian).
8. Nedavniy O.I., Bazilevich S.V. and Kuznetsov S. M. *Otsenka organizatsionno-tehnologicheskoy nadezhnosti stroitelstva obyektov* [Evaluation of organizational and technological reliability of building objects]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*. [Systems. Methods. Technologies]. 2013, no. 2. (18). pp. 137-141. (in Russian).
9. Bratcu, A.I. and Dolgui A.A. *Some new results on the analysis and simulation of bucket brigades*. International Journal of Production Research, 2009, vol. 47, № 2, pp. 369–387. Available at: www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207540802426128.
10. Min-Lan Yang. *Enhancement of scheduling reliability in building project using theory of constraint* / Min-Lan Yang, Tsung-Chieh-Tsai // Journal of the Operational Research, 2008, vol. 51, no. 4, pp. 284-298. Available at: http://www.orsj.or.jp/~archive/pdf/e_mag/51-4-284-298.pdf.