

УДК 69.057:658.513.4

## ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ РАБОТ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНА

МАРТЫШ А. А.<sup>1</sup>, к.т.н., доц.

<sup>1</sup> 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](mailto:martysh_oleksandr@mail.ru), ORCID ID: 0000-0002-8864-2555

**Аннотация.** Исследование посвящено календарному планированию и решению научно-прикладной задачи повышения надежности этого планирования и реализации календарных планов. В этой статье рассматриваются факторы, которые влияют на планируемое время выполнения какой-либо строительно-монтажной работы в составе календарного плана. В основе методики лежит подход, согласно которому время завершения некоторого объема работ является производным от производительности того или иного исполнителя и интенсивности выполнения работ. Для использования такого подхода требуется применять статистические данные о выработке исполнителей на схожих объектах в прошлом. Исходя из этого время завершения работ есть не детерминированное значение, а диапазон (промежуток) возможных значений, которые можно описывать с помощью нормального распределения,  $\beta$ -распределения и  $\alpha$ -распределения. Приведены результаты исследований, позволяющие определить для каждого конкретного случая какой из этих методов описания даст наибольшую точность. Предложена методика изображения работ в календарном плане с помощью веерной функции, показывающей нарастание неопределенности с течением времени. Разработана и описана методика расчета поточной организации работ с учетом этой неопределенности и вероятности завершения работ к тому или иному сроку. Описаны наиболее типичные случаи взаимоувязки работ в календарном плане, выполненном по предложенной методике. Предложенный в статье подход позволяет нивелировать противоречие между вероятностной природой реальных процессов и детерминированными методами их описания. Ведь наличие только детерминированного результата расчета значения некоторого параметра, по которому оценивается состояние реального процесса, явно не достаточно, так как остается неопределенным его место в возможном диапазоне значений от минимального к максимальному. Особенность календарного планирования состоит в том, что производственные процессы и условия, определяющие показатели эффективности, находятся в будущем, и предсказание (прогнозирование) их значений может осуществляться исследователем только с определенным уровнем вероятности. Поэтому 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.

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

## ЙМОВІРНІСНИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ ТРИВАЛОСТІ РОБІТ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНУ

МАРТИШ О. О.<sup>1</sup>, к.т.н., доц.

<sup>1</sup> 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](mailto:martysh_oleksandr@mail.ru), ORCID ID: 0000-0002-8864-2555

**Анотація.** Дослідження присвячене календарному плануванню та вирішенню науково-прикладної задачі підвищення надійності реалізації календарних планів. У цій статті розглядаються фактори, які впливають на плановий час виконання будь-якої будівельно-монтажної роботи у складі календарного плану. В основі методики лежить підхід, згідно з яким час завершення деякого обсягу робіт є похідним від продуктивності того чи іншого виконавця та інтенсивності виконання робіт. Для використання такого підходу потрібно застосовувати статистичні дані про виробку виконавців на схожих об'єктах в минулому. Виходячи з цього час завершення робіт є не детерміноване значення, а діапазон (проміжок) можливих значень, які можна описувати за допомогою нормального розподілу,  $\beta$ -розподілу і  $\alpha$ -розподілу. Наведено результати досліджень, що дозволяють визначити для кожного конкретного випадку який з цих методів опису дасть найбільшу точність. 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 цієї невизначеності та ймовірності завершення робіт до того чи іншого терміну. Описані найбільш типові випадки взаимоув'язки робіт в календарному плані, виконаному за запропонованою методикою. 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. 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 реальної, ймовірнісної

природи їх виконання дозволяє отримати хоча часом і більш песимістичні, але в той же час більш достовірні по ймовірності досягнення результати.

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

## A PROBABILISTIC APPROACH TO DETERMINING THE LENGTH OF SCHEDULE WORKS

MARTYSH A. A.<sup>1</sup>, *Cand.Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,

<sup>1</sup> 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](mailto:martysh_oleksandr@mail.ru), ORCID ID: 0000-0002-8864-2555

**Summary.** Research is devoted to scheduling and solving scientific problem of improving the reliability of the planning and schedule implementation. This article discusses the factors that affect the estimated time of performing any construction and assembly operations in the schedule. The method is based on the approach that the time of completion of a scope of work is derived from the performance of a performer and the intensity of the work. To use this approach it is required to apply statistical data of kib performer at similar facilities in the past. So work completion time is not determined value but range (interval) of possible values that can be described by a normal distribution,  $\beta$ - and  $\alpha$ -distributions. 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 method of calculation 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. 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. 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 real, 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.

Исследователями 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.

Проанализировать существующие способы описания и моделирования процесса выполнения строительно-монтажных работ, а также выявить этапы проектирования, на которых можно увеличить точность расчетов.

### Результаты исследований.

Организационно-технологическая надежность календарного плана – это вероятность, с которой работы согласно этому плану будут выполнены к определенному сроку. А так как календарный план состоит из отдельных работ, то соответственно и

каждая работа имеет свое ожидаемое время окончания.

Для того, чтобы вычислить ожидаемое время окончания любой работы в составе календарного плана, было решено отображать ее через интенсивность труда исполнителей. И это логично, так как если известна продуктивность бригады ( $m^3$  бетонного фундамента в сутки, например), то можно узнать, за какое время такая бригада справится с любым объемом работ. Такой подход несколько отличается от использования ЕНиРов и ДБНов. В ДБНах даны статистических данные о том, как много времени в человеко-часах уходит на определенных объем работ (например на  $100 m^3$  бетонного фундамента). Такие данные удобны и достаточны для составления календарного плана, однако они не учитывают индивидуальных характеристик отдельных исполнителей.

Описываемая же здесь методика несколько отличается и использует иной подход к расчету продолжительности работы; она подходит для строительных организаций, у которых числятся свои рабочие бригады и по этим бригадам есть статистика производительности или выработки. В таком случае представляется возможным установить, 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

Fig. 1. Actual (1) and theoretical (2) graphs of the probability distribution of the work intensity

Базой для расчетов является статистическая выборка 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. Если представить такие данные в виде графика распределения, то видно, что распределение симметрично и может быть описано нормальным законом распределения.

Используя данные о максимальной и минимальной производительностях исполнителя, можно найти время, затрачиваемое им на любой объем работ. А так как используется несколько значений производительности, то получаем в итоге и несколько значений времени выполнения работ. В итоге конечное время выполнения отдельной работы уже не будет фиксированным усредненным значением, а будет неким интервалом значений.

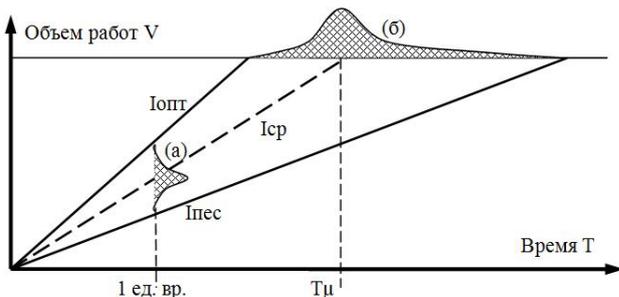


Рис. 2. Асимметрический закон распределения времени выполнения работ (б) при нормальном законе интенсивности их выполнения (а)

Fig. 2. Asymmetric distribution of the work time (b) behind the normal distribution of the work intensity (a)

Если использовать не только максимальное и минимальное значения производительности, то можно получить множественные значения времени с вероятностью их появления. Эти значения также можно описать и обобщить с помощью математических распределений. Что характерно, при нормальном законе распределения производительности исполнителя, сам закон распределения времени выполнения работ не

обязательно будет нормальным. Как видно из рисунка 2, в законе распределения времени окончания отдельной работы присутствует асимметрия.

Величина асимметрии легко находится из геометрических уравнений, используя такие известные исходные данные, как производительность исполнителя. Также было выявлено, что асимметрия зависит от разброса значений производительности исполнителя. Если отношение максимальной производительности к минимальной менее чем 1,2, то асимметрия незначительна и ее можно вовсе не учитывать при расчетах, условно считая распределение времени окончания работ нормальным. Если же разброс производительности превышает величину 1,2, то необходим учет асимметрии.

Для учета данной асимметрии и описания закона распределения времени окончания работ были опробованы нормальное распределение,  $\alpha$ -распределение и  $\beta$ -распределение. В итоге, наиболее точно описывающим время выполнения работ оказалось  $\alpha$ -распределение, которое и было принято для дальнейших расчетов:

$$f(t) = \frac{\theta\alpha}{t^2\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{\alpha^2}{2}\left(\frac{\theta}{t} - 1\right)^2\right] \quad (1)$$

Каждую работу в составе календарного плана можно изобразить временным интервалом с известными вероятностными параметрами. Эти параметры - наиболее ожидаемое, минимально и максимально возможное время завершения работы.

Используя итоговую нарастающую функцию распределения можно установить, с какой вероятностью отдельная работа будет выполнена к определенному сроку. На рисунке 3 приведен пример, как с помощью итоговой функции распределения можно установить, к какому времени работы будут выполнены с вероятностью 60 или 80 процентов. Как видно из рисунка, если планировщик желает большую надежность, то он задается большим временем выполнения работы. К примеру, для того 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  $N=0,5$ . Так как повышение надежности окончания работ приводит к соответствующему увеличению продолжительности ее выполнения, то уже сам подход, основанный на учете вероятностных процессов в календарном планировании,

предусматривает увеличение этих сроков по отношению к детерминированным расчетам.



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

Однако упомянутая особенность не должна рассматриваться как недостаток такого подхода к расчету временных параметров потока. Преобладание в планировании и организации строительного производства детерминированных методов расчета, которые в соответствии с отмеченными особенностями расчета дают достаточно оптимистические, а значит и менее надежные результаты, приводит к массовому срыву как промежуточных так и завершающих сроков строительства объектов.

Также, при увязке работ в составе календарного плана, часто встречаются временные ограничения для начала некоторых работ, например, когда не свободен фронт работ. Такие ограничения тоже легко поддаются расчету данным способом и не вызывают дополнительных затруднений.

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. Пример показан рисунке 4, где 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 общем случае неритмичных потоков), в которых временные параметры принимаются как величины детерминированные, узловым моментом есть взаимоувязка по срокам окончания предшествующей работы и начала последующей на том этапе, где отмечается их критическое сближение. В данном случае имеет место простое условие "начало последующей работы должно наступать не ранее завершения предшествующей", которое является универсальным для взаимоувязки смежных работ независимо от того, на первом или каком-либо

последующем этапе это критичное сближение произошло.

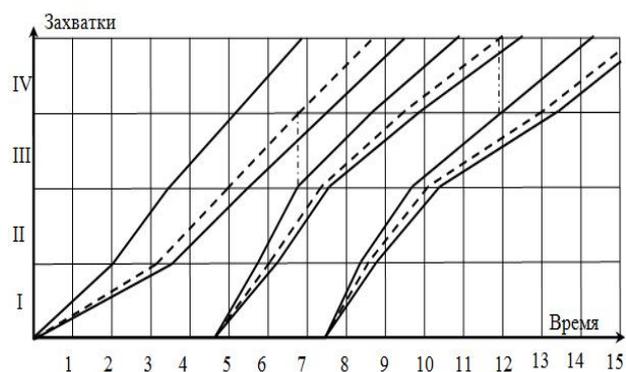


Рис. 4. Циклограмма выполнения работ с учетом вероятности окончания работ по захваткам  
Fig. 4. Work schedule, based on taking into account the probability of completing work on each object

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. Основная проблема – 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.

При использовании данной методики значительно повышается надежность самого календарного плана, его прогнозы становятся более реалистичными и дают не единый детерминированный результат, а веер возможных значений, дающих возможность оценить вероятность достижения конечного результата к тому или иному сроку строительства.

### Вывод.

Рассмотренная в статье методика позволяет учитывать вероятностные факторы, которые влияют на окончательное время выполнения какой-либо строительной-монтажной работы. В основе методики лежит подход, согласно которому время завершения некоторого объема работ является не детерминированным значением, а диапазоном (промежутком) возможных значений, которые можно описать с помощью  $\alpha$ -распределения. В итоге 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.

1. Абдуллаев Г. И. Повышение организационно-технологической надежности строительства линейно-протяженных сооружений методом прогнозирования отказов [Электронный ресурс] / Г. И. Абдуллаев, В. З. Величкин, Т. Н. Солдатенко // Инженерно-

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

строительный журнал. - 2013. - № 3. - С. 43-50. - Режим доступа:

[http://www.engstroy.spb.ru/index\\_2013\\_03/velichkin.pdf](http://www.engstroy.spb.ru/index_2013_03/velichkin.pdf)

Abdullaev G. I. Povyshenie organizatsionno-tekhnologicheskoy nadezhnosti stroitel'stva lineynoprotyazhennykh sooruzheniy metodom prognozirovaniya otkazov [Improving the organizational and technological reliability of linear facility building by failures predicting] / G. I. Abdullaev, V. Z. Velichkin, T. N. Soldatenko // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. - 2013. - № 3. - pp. 43-50.

2. Анферов В. Н. Организационно-технологическая надежность эксплуатации башенных кранов. / В. Н. Анферов, С. М. Кузнецов, С. И. Васильев // Журнал "Системы. Методы. Технологии". - 2013. - № 2 (18). - С. 35-41. - Режим доступа:

[brstu.ru/static/unit/journal\\_smt/docs/number18/35-41.pdf](http://brstu.ru/static/unit/journal_smt/docs/number18/35-41.pdf)

Anferov V. N. Organizatsionno-tekhnologicheskaya nadezhnost' ekspluatatsii bashennykh kranov. [Organizational and technological reliability of tower crane operations] / V. N. Anferov, S. M. Kuznecov, S. I. Vasiljev // Zhurnal "Sistemy. Metody. Tehnologii". - 2013. - № 2 (18). - pp. 35-41

3. Величкин, В. З. Управление и надежность реализации строительных программ [Электронный ресурс] / В. З. Величкин // Инженерно-строительный журнал. - 2014. - № 7. - С. 74-79. - Режим доступа:

[http://www.engstroy.spb.ru/index\\_2014\\_07/10.pdf](http://www.engstroy.spb.ru/index_2014_07/10.pdf)

Velichkin, V. Z. Upravlenie i nadezhnost' realizatsii stroitel'nykh programm [Management and reliability of construction programs implementation] / V. Z. Velichkin // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. - 2014. - № 7. - pp. 74-79

4. Гусаков, А. А. Организационно-технологическая надежность строительного производства / А. А. Гусаков. - М.: Стройиздат, 1974. - 252 с. Режим доступа:

<http://www.iatp.am/vahanyan/systech/avtor-1111.htm>

Gusakov, A. A. Organizatsionno-tekhnologicheskaya nadezhnost' stroitel'nogo proizvodstva [Organizational-technological reliability of building production]. Moscow, Stroyizdat, 1974. 252 p.

5. Единые нормы и расценки на строительные, монтажные. и ремонтно-строительные работы. Сборник Е4, выпуск 1. [Электронный ресурс]. - Режим доступа:

[http://www.tehlit.ru/e\\_enir.htm](http://www.tehlit.ru/e_enir.htm)

Edinye normy i rastsenki na stroitel'nye, montazhnye. i remontno-stroitel'nye raboty. Sbornik E4, vypusk 1. [Uniform standards and fees for building and construction and repair construction work. A Collection Of E4, part 1].

6. Житловий фонд України. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.ukrstat.gov.ua>

Zhitlovij fond Ukraini [The housing Fund of Ukraine].

7. 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. - Режим доступа: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vpabia\\_2013\\_3\\_4.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vpabia_2013_3_4.pdf)

Mlodetskiy, V. R. Veroyatnostnye parametry vypolneniya otdel'noy stroitel'no-montazhnoy raboty [Probability parameters

of separate construction work performing] / V. R. Mlodetskiy, A. A. Martysh // Vestnik Pridneprovskoy gosudarstvennoy akademii stroitel'stva i arkhitektury. - 2013. - № 3. - pp. 8-14.

8. Млодецкий, В. Р. Концепція надійності в організації будівельного виробництва / В. Р. Млодецкий, А. В. Загуменова, Н. Ю. Морощкіна // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. - 2014. - № 4. - С. 19-24. - Режим доступа: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vpabia\\_2014\\_4\\_6.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vpabia_2014_4_6.pdf)

Mlodec'kyj, V. R. Konceptsiya nadijnosti v organizacii budivel'nogo vyrobnyctva [The concept of reliability in construction organization] / V. R. Mlodec'kyj, A. V. Zagumenova, N. Ju. Moroshkina // Visnyk Prydniprovs'koi' derzhavnoi' akademii' budivnyctva ta arhitektury. - 2014. - № 4. - pp. 19-24.

9. Млодецкий, В. Р. Организационно-технологическая и управленческая надежность функциональной системы строительной организации : автореф. дисс. ... д-ра техн. наук : 05.23.08 / Млодецкий Виктор Растиславович ; ГБУЗ "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры". - Днепропетровск, 2005. Режим доступа: <http://referatu.net.ua/referats/7569/160940>

Mlodetskiy, V. R. Organizatsionno-tekhnologicheskaya i upravlencheskaya nadezhnost' funktsional'noy sistemy stroitel'noy organizatsii. Dokt, Diss. [Organizational-technological reliability and management of the functional system of a construction company. Dokt, Diss.]. Dnepropetrovsk, 2005. 20 p.

10. 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. - Режим доступа:

[brstu.ru/static/unit/journal\\_smt/docs/number18/137-141.pdf](http://brstu.ru/static/unit/journal_smt/docs/number18/137-141.pdf)

Nedavnij O. S. Ocenka organizatsionno-tekhnologicheskoy nadezhnosti stroitel'stva objektov [Evaluation of organizational and technological reliability of building objects] / O. S. Nedavnij, S. V. Bazilevich, S. M. Kuznecov // Zhurnal "Sistemy. Metody. Tehnologii". - 2013. - № 2 (18). - pp. 137-141

11. Bratcu, A. I. Some new results on the analysis and simulation of bucket brigades (selfbalancing production lines) [Электронный ресурс] / A. I. Bratcu, A. Dolgui // International Journal of Production Research, 2009, vol. 47, no. 2, pp. 369-387.

[www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207540802426128](http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207540802426128)

12. Min-Lan Yang. Enhancement of scheduling reliability in building project using theory of constraint [Электронный ресурс] / Min-Lan Yang, Tsung-Chieh-Tsai // Journal of the Operational Research, 2008, vol. 51, no. 4, pp. 284-298 [http://www.orsj.or.jp/~archive/pdf/e\\_mag/51-4-284-298.pdf](http://www.orsj.or.jp/~archive/pdf/e_mag/51-4-284-298.pdf)

13. Yang, K. K. Maximizing throughput of bucket brigades on discrete workstations [Электронный ресурс] / K. K. Yang, Y. E. Lim // Production and Operations Management. - 2009. - Vol. 18. - P.48-59. <http://www.mysmu.edu/faculty/yflim/yflim-POM2009.pdf>

*Статья рекомендована к публикации д-ром.техн.наук, проф. Млодецкий В.Р. (Украина); д-ром.техн.наук, проф. Кравчуновская Т.С. (Украина)*

Поступила в редколлегию 04.04.2016