

УДК 625.002.5

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЗЕРВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗВЕДЕНИЯ ПОЛНОСБОРНЫХ ЗДАНИЙ

СОКОЛОВ И. А.,<sup>1</sup> д. т. н.

<sup>1</sup> Кафедра технологии строительного производства, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-42-51, e-mail: pgs@mail.pgasa.dp.ua., ORCID ID: 0000-0001-8366-4301

**Аннотация. Постановка проблемы.** Наибольшие резервы повышения эффективности строительного производства заключены в решении проблемы обеспечения соответствия технологических свойств объемно-планировочных и конструктивных решений зданий организационно-технологическим условиям производственных процессов. Тенденции развития общества предопределили рост объемов строительства, усложнение проектных решений зданий, а также обуславливал необходимость сокращения сроков возведения зданий и снижения стоимости строительно-монтажных работ. В последние годы, архитектурно-композиционные решения возводимых зданий все чаще входят в противоречие с организационно-технологическими и техническими возможностями строительных организаций. Эта проблема решается путем совершенствования и создания новых технологий строительного производства, применение более современных строительных машин и механизмов. Реализация поставленных задач может быть решена путем создания объемно-планировочных и конструктивных решений зданий соответствующим возможностям строительных организаций или создания принципиально новых технологий. В настоящее время отсутствует единый комплексный подход позволяющий установить степень соответствия объемно-конструктивных решений зданий технологическими возможностями строительного производства. Дисбаланс намерений и возможностей приводит к значительному увеличению финансовых затрат на возведение здания. **Цель статьи.** Необходимо предложить метод оценки уровня технологичности возведения полносборных зданий, применение которой обеспечит возможность совершенствования полного технологического процесса возведения здания и, как следствие, роста его эффективности путем повышения степени соответствия технологических свойств объемно-планировочных и конструктивных решений зданий организационно-технологическим условиям процессов изготовления, погрузки-разгрузки, транспортирования и монтажа конструкций и изделий. **Выводы.** Предложенный метод и система инженерных расчетов позволяют вносить коррективы в предложенный вариант объемно-планировочного и конструктивного решения (без ущерба архитектурно-композиционному решению) здания, а также совершенствовать технологические процессы его возведения, за счет оптимизации его отдельных параметров. Создание экономико-математических моделей, описывающих подсистемы строительного производства, позволило установить функциональную и структурную взаимосвязь эффективности строительного производства и технологичности проектных решений возводимых зданий.

**Ключевые слова:** повышение эффективности строительного производства, полносборные здания, проектные решения

## ТЕХНОЛОГІЧНІ РЕЗЕРВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗВЕДЕННЯ ПОВНОЗБІРНИХ БУДИНКІВ

СОКОЛОВ І. А.,<sup>1</sup> д. т. н.

<sup>1</sup> Кафедра технологій будівельного виробництва, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-42-51, e-mail: pgs@mail.pgasa.dp.ua., ORCID ID: 0000-0001-8366-4301

**Анотація. Постановка проблеми.** Найбільші резерви підвищення ефективності будівельного виробництва укладені у вирішенні проблеми забезпечення відповідності технологічних властивостей об'ємно-планувальних і конструктивних рішень будівель організаційно-технологічним умовам виробничих процесів. Тенденції розвитку суспільства зумовили зростання обсягів будівництва, ускладнення проектних рішень будівлі, а також обумовлював необхідність скорочення термінів зведення будівель і зниження вартості будівельно-монтажних робіт. В останні роки, архитектурно-композиційні рішення зведених будинків все частіше входять в протиріччя з організаційно-технологічними та технічними можливостями будівельних організацій. Ця проблема вирішується шляхом вдосконалення і створення нових технологій будівельного виробництва, застосування більш сучасних будівельних машин і механізмів. Реалізація поставлених завдань може бути вирішена шляхом створення об'ємно-планувальних і конструктивних рішень будівель відповідним можливостям будівельних організацій або створення принципово нових технологій. В даний час відсутній єдиний комплексний підхід дозволяє встановити ступінь відповідності об'ємно-конструктивних рішень будівель технологічними можливостями будівельного виробництва. Дисбаланс намірів і можливостей призводить до значного збільшення фінансових витрат на зведення будівлі. **Мета статті.** Необхідно запропонувати метод оцінки рівня технологічності зведення повнозбірних будівель, застосування якої забезпечить можливість вдосконалення повного технологічного процесу зведення будівлі і, як наслідок, зростання його ефективності шляхом підвищення ступеня відповідності технологічних властивостей об'ємно-планувальних і конструктивних рішень будівель організаційно-технологічним умови процесів виготовлення, погрузкі-

розвантаження, транспортування і монтажу конструкцій і виробів. **Висновки.** Запропонований метод і система інженерних розрахунків дозволяють вносити корективи в запропонований варіант об'ємно-планувального і конструктивного рішення (без шкоди архітектурно-композиційному рішенню) будівлі, а також удосконалювати технологічні процеси його зведення, за рахунок оптимізації його окремих параметрів. Створення економіко-математичних моделей, що описують підсистеми будівельного виробництва, дозволило встановити функціональну і структурну взаємозв'язок ефективності будівельного виробництва і технологічності проектних рішень зведених будинків.

**Ключові слова:** підвищення ефективності будівельного виробництва, повнозбірні будівлі, проектні рішення

## PRODUCTION CAPABILITIES EFFICIENCY PREFABRICATION ERECTION OF BUILDINGS

SOKOLOV I. A.,<sup>1</sup> *Dr. Sc. (Tech.)*

<sup>1</sup> Department of technology and bilding production, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, тел. +38 (0562) 46-42-51, e-mail: pgs@mail.pgasa.dp.ua., ORCID ID: 0000-0001-8366-4301

**Abstract.** Formulation of the problem. the largest reserves of increase of efficiency of building production concluded in the decision of problems of ensuring compliance with the technological properties of space-planning and constructive decisions of buildings organizational and technological conditions of manufacturing processes. Tendencies of development of the society determined the growth in construction, complexity of design rhenium building and makes it necessary to reduce the time of construction of buildings and reduce the cost of construction and installation works. In recent years, the architectural and compositional solutions constructed buildings are increasingly conflict with organizational, technological and technical capacity building organizations. This problem is solved by the improvement and development of new technologies of building production, the use of more modern construction machines and mechanisms. The implementation of the tasks can be solved by creating a space-planning and constructive decisions of buildings corresponding possibilities of building organizations and the creation of fundamentally new technologies. Currently, there is no single comprehensive approach allows to establish the extent to which space-constructive decisions of buildings technological possibilities of building production. Imbalance intentions and capabilities results in a significant increase in financial expenses for the construction of the building. **The purpose of the article.** It is necessary to propose a method of assessing the level of technological prefabrication construction of buildings, the application of which will provide an opportunity to improve the full process of erection of the building and, as a consequence, increase its efficiency by increasing the extent to which the technological properties of space-planning and constructive decisions of buildings organizational and technological conditions of manufacturing processes, pogruzki- unloading, transportation and installation of structures and products. **Conclusions.** The proposed method and system engineering calculations allow you to make adjustments to the proposed version of the space-planning and constructive decisions (without compromising architectural composition solution) of the building, as well as to improve the processes of its construction, by optimizing its individual parameters. Creation of economic and mathematical models describing the subsystem construction industry, has allowed to establish the functional and structural relationship of the efficiency of building production and technological design solutions constructed buildings.

**Key words:** *efficiency of construction, prefabrication building design solutions*

Решение задач повышения эффективности строительного производства, совершенствования технологии и организации процессов, обуславливает необходимость создания методики, позволяющей проводить факторный анализ эффективности возведения полносборных зданий и сооружений при различных проектных и организационно-технологических решениях с заданным уровнем надежности и давать научно обоснованные предложения по повышению эффективности строительства путем совершенствования технологичности проектных решений [3, 4, 5].

Под технологичностью проектных решений зданий понимаются группа признаков, характеризующих степень соответствия объ-

емно-планировочных и конструктивных решений зданий (ОКР) высоконадежным организационно-технологическим условиям процессов изготовления, транспортирования и монтажа конструкций и изделий, позволяющим осуществлять возведение зданий при минимальных затратах живого и общественного труда и соблюдении высокого качества работ.

Для количественной оценки технологичности проектных решений используется система показателей, характеризующих технологичность изготовления, транспортирования и монтажа отдельных конструкций и конструктивно-технологических групп изделий, а также технологичность объемно-планировочной композиции здания.

На основании проведенных исследований была создана экономико-математическая модель, устанавливающая функциональную, и структурную взаимосвязь эффективности строительного производства и технологичности проектных решений **ВОЗВОДИМЫХ** зданий.

Задача решается в монокритериальной постановке с применением в качестве критерия технологичности показателя приведенных затрат ( $S_{np}$ ).

В связи с тем, что некоторые технологичные проектные решения не могут противостоять возмущениям, возникающим в процессах изготовления, транспортирования и монтажа, возникла необходимость оценить вероятностный характер реальной системы и учесть в разработанной модели факторы, дестабилизирующие строительное производство [2]. С этой целью в математическую модель были введены показатели, учитывающие вероятности того, что принятое решение выполнит свои функции по обеспечению эффективности процессов изготовления, транспортирования и монтажа в интервале нормативного времени.

Уравнение связи критерия эффективности ( $S_{np}$ ) с определенными показателями технологичности ( $K_{\mu}$ ), характерными для каждого  $\rho$ -го технологического процесса можно записать в виде сложной функции: а) процесс изготовления:

1. стеновый способ производства 
$$S_{np}^{ист} = f_1[K_{\mu}, P_{ст}(t)]; \quad (1)$$

2. кассетный способ производства 
$$S_{np}^{икас} = f_2[K_{\mu}, P_{кас}(t)]; \quad (2)$$

3. конвейерный способ производства 
$$S_{np}^{икон} = f_3[K_{\mu}, P_{кон}(t)]; \quad (3)$$

а) процесс транспортирования 
$$S_{np}^{тп} = f_4[K_{\mu}, P_{тп}(t)]; \quad (4)$$

б) процесс монтажа: 
$$S_{np}^м = f_5[K_{\mu}, P_м(t)]; \quad (5)$$

где:  $P_j^{(t)}$  — вероятность того, что показатель технологичности ( $K_{\mu}$ ) выполнит свои функции в  $\rho$ -ом реальном процессе в момент времени  $t$ .

Анализ уравнений (1-3) дает возможность определить наиболее эффективный  $x$ -ый способ изготовления конструкций и изделий:

$$S_{np}^н = \left\{ \begin{array}{l} S_{np}^{ист} = f_1[K_{\mu}, P_{ст}(t)] \\ S_{np}^{икас} = f_2[K_{\mu}, P_{кас}(t)] \\ S_{np}^{икон} = f_3[K_{\mu}, P_{кон}(t)] \end{array} \right\} = f_n[K_i, P_n(t)] \quad (6)$$

Совместное решение уравнений (4-6)) позволяет записать обобщающее уравнение связи, характеризующее эффективность всего процесса строительства в зависимости от  $K_{\mu}$ :

$$S_{np}^в = \{f_n[K_{\mu}, P_n(t)]; f_4[K_{\mu}, P_{тп}(t)]; f_5[K_{\mu}, P_м(t)]\} = \Phi[K_i, P(t)] \quad (7)$$

где:  $P(t)$ —вероятность соответствия  $K_{\mu}$ -го показателя технологичности эффективности функционирования системы строительного производства/

Исследование уравнения связи (7) относительно управляющего фактора ( $K_i$ ) дает возможность получить функцию цели и отыскать оптимальное значение параметра при  $S_{np}=\min$ . Для нахождения экстремального значения необходимо взять первую и вторую производные:

$$\frac{dS_{np}}{dK_{\mu}} = 0, \quad \frac{d[K_i, P(t)]}{dK_{\mu}} = 0$$

Если  $S_{np}'' > 0$ , тогда  $S_{np}=\min$ , а  $K_{\mu}=\text{opt}$ , при вероятности  $P(t)$ .

Такой подход к решению задач дает возможность установить оптимальные значения для каждого  $K_{\mu}$ -го показателя технологичности в конкретных производственных условиях при планируемой организационно-технологической надежности.

Сравнение показателей технологичности, характеризующих проектное решение зданий, с их оптимальными значениями, позволяет сделать вывод о степени технологичности ОКР здания и наметить мероприятия по их совершенствованию, что в конечном итоге приводит к повышению эффективности и организационно-технологической надежности строительного производства.

Для оценки технологичности проектных решений разработана методика, включающая комплекс экономико-математических моделей и алгоритм решения задачи.

Проектное решение полносборного здания может быть представлено совокупностью конструкций и изделий образующих строительный объем, и в конечном итоге описывающих ОКР, т.е. речь об отработке каждого железобетонного изделия на технологичность.

Под технологичністю конструкцій и изделий понимается группа признаков, характеризующая степень соответствия их конструктивного решения высоконадежным организационно-технологическим условиям процессов изготовления, транспортирования и монтажа, позволяющим осуществлять эти процессы при минимальных затратах живого и общественного труда и соблюдения высокого качества работ.

Для количественной оценки технологичности железобетонных изделий используется система показателей ( $K_{\mu}$ ), наиболее значимые из которых: масса конструкций ( $Q_k$ ), технологическая длина ( $L_k$ ), технологическая ширина ( $B_k$ ), приведенная толщина ( $b_k$ ), показатель сложности армирования ( $K_a$ ), показатель сложности конфигурации ( $K_{ск}$ ), показатель строительной равновесности ( $K_{стр}$ ), показатель готовности конструкций ( $K_r$ ), серийность конструкции ( $K_{с.т}$ ), показатель конструктивной преимущества ( $K_{п}$ ).

Анализ существующих строительных процессов, способов и методов изготовления, транспортирования и монтажа с учетом их влияния на отдельные показатели технологичности позволил создать экономико-математическую модель технологичности железобетонных конструкций и изделий. Данная модель представляет собой выражение в математической форме экономических и технических характеристик реальных оптимизированных процессов с учетом их специфических и вероятностных особенностей и показателей, характеризующих технологичность железобетонных изделий.

В качестве критерия эффективности конструкции  $i$ -го вида  $j$ -го типа приняты удельные приведенные затраты ( $S_{пр.ij}$ ). Использование относительных показателей позволяет проводить сравнительную оценку свойств. пределы изменения этих показателей приняты в диапазоне от 0 до 1, что обеспечивается структурой формул

Моделирование проводилось для каждого из строительных процессов с учетом рациональных способов изготовления, транспортирования и монтажа. В результате выполненных исследований и обработки технико-экономических данных были получены уравнения связи удельных приведенных затрат (для конструкции  $i$ -го вида  $j$ -го типа) и пока-

зателей технологичности для каждого из  $p$ -х процессов строительного производства с учетом их вероятностного характера (табл. 1).

В уравнениях приняты следующие обозначения:  $F_d$  — действительный фонд рабочего времени технологического оборудования машин и механизмов при односменной работе;  $C_1$  — количество рабочих смен;  $C_2$  — количество смен работы тепловых агрегатов в сутки;  $t_c$  — продолжительность стендовых операций;  $t_{об}^c$  — продолжительность тепловой обработки;  $t_{ф}$  — продолжительность формования изделия;  $n$  — оптимальное количество одновременно формируемых изделий;  $V_{kij}$  — объем конструкции  $i$ -го вида  $j$ -го типа;  $L_{kij}$  — технологическая длина изделий  $i$ -го вида  $j$ -го типа;  $M_{ф}$  — металлоемкость форм;  $K_{с.т.ij}$  — серийность изделий  $i$ -го вида  $j$ -го типа;  $m_{kij}$  — количество марок изделий;  $K_1^1$ ,  $K_1$  — коэффициенты, учитывающие степень механизации процессов;  $K_3^1$ ,  $K_3$  — коэффициенты, характеризующие усилие натяжения арматуры;  $f_{ф}$ ,  $f_c$  — количество рабочих, выполняющих соответственно формование изделий и общестендовые операции;  $K_{ф}^{cp}$ ,  $K_c^{cp}$  — часовая ставка рабочих средневзвешенного разряда, соответственно при формовании и стендовых операциях;  $r$  — ритм работы технологической линии;  $m$  — оптимальное количество постов на линии;  $f_k$  — количество рабочих, выполняющих формование изделий при кассетном способе производства;  $K_{ф}^k$  — часовая ставка рабочих средневзвешенного разряда при кассетном способе изготовления;  $o$  — оптимальное количество отсеков в кассетной установке;  $t_0$  — продолжительность формования одного отсека;  $t_{пз}$  — общая продолжительность подготовительно-заключительных операций;  $t_{об}^k$  — продолжительность тепловой обработки;  $P_{рс}$  — масса разделительной стенки;  $P_{то}$  — масса теплового отсека;  $u$  — количество изделий между тепловыми отсеками;  $b_{kij}$  — толщина изделия  $i$ -го вида  $j$ -го типа;  $b_{то}$  — толщина теплового отсека;  $R$  — расстояние транспортирования конструкций;  $d$  — количество конструкций  $i$ -го вида  $j$ -го типа на автосредстве;  $\gamma$  — коэффициент использования грузоподъемности;  $a_1$  и  $b_1$  — коэффициенты, характеризующие изменение продолжительности погрузочно-разгрузочных работ в зависимости от массы и вида конструкции;  $a_2$  и  $b_2$  — ко-

эффиценты, характеризующие изменение скорости автосредства в зависимости от его длины;  $C_{тр}$  — сменность работы автосредств;  $A$  и  $B$  — коэффициенты, характеризующие изменение продолжительности цикла монтажа конструкций  $i$ -го вида  $j$ -го типа в зависимости от его массы;  $C_{M4}^H$  - себестоимость машино-часа рационального  $H$ -го монтажного крана;  $K^H$  — капитальные вложения в этот кран;  $\Delta_{ij}$  - расстояние перемещения крана от конструкции до конструкции;  $V_K^H$  - скорость перемещения  $H$ -го монтажного крана;  $f_M$  - количество монтажников, выполняющих монтаж конструкции  $i$ -го вида  $j$ -го типа;  $K_M^\Phi$  — часовая ставка монтажников средне-взвешенного разряда;  $C_M$  — сменность работы при выполнении монтажного процесса;  $K_\mu$  —  $\mu$ -ый показатель технологичности;  $\alpha$  — коэффициент, учитывающий переход от  $K_{\mu-1}$  к  $K_\mu$ ;  $K_H^{ст}$ ,  $K_H^{кон}$ ,  $K_H^{кас}$ ,  $K_H^{тр}$ ,  $K_H^M$  — показатели надежности  $\theta$ -го строительного процесса;  $\beta$  — коэффициент учитывающий вероятность соответствия  $K_\mu$ -го показателя технологичности эффективности функционирования  $\rho$ -ой системы строительного производства.

Исследование совокупности конструкций  $i$ -го вида  $j$ -го типа по уравнениям связи, приведенным в табл. 1, позволили записать уравнения связи удельных приведенных затрат с каждым  $K_\mu$ -м показателем технологичности в виде сложной функции:

а) для каждого  $\rho$ -го процесса строительного производства:

$$S_{np}^\rho = \Phi_\rho(k_\mu); \quad (8)$$

б) для системы строительного производства

$$S_{np} = \sum_{\rho=1}^H S_{np}^\rho = \sum_{\rho=1}^H \Phi_\rho(k_\mu) \quad (9)$$

Оптимальное значение  $K_\mu$ -го показателя технологичности при применении суммы удельных приведенных как критерия оптимальности, находится решением уравнения, получаемого приравниванием нулю производной от правой части формулы (9) которая определяет эффективность применения конструкции по величине  $K_\mu$ :

$$\frac{d \sum_{\rho=1}^H \Phi_\rho(k_\mu)}{dk_\mu} = 0, \quad S_{np} = \min_{k_\mu = opt} \quad (10)$$

Сравнение показателей технологичности, характеризующих исследуемую конструкцию

$i$ -го вида  $j$ -го типа, с их оптимальными значениями, позволяет сделать вывод о степени технологичности разрабатываемой конструкции и наметить пути по повышению ее технологичности.

В общем случае уровень технологичности отдельного изделия  $i$ -го вида  $j$ -го типа, входящего в совокупность изделий, образующих ОКР здания, в любой  $\rho$ -ой подсистеме строительного производства может быть представлен в виде:

$$t_j^\rho = \sum_{\mu=1}^d \left(1 - \frac{(K_\mu - K_{\mu opt})}{K_{\mu opt}}\right) r_\mu \quad (11)$$

где  $d$  — количество показателей характеризующих изделие  $i$ -го вида  $j$ -го типа;

$r_\mu$  — удельная значимость  $\mu$ -показателя;

$K_\mu$  — показатель характеризующий  $\mu$ -ое технологическое свойство из числа множества  $d$ ;

$K_{\mu opt}$  — оптимальное значение показателя из числа множества  $d$ .

Уровень технологичности железобетонного изделия  $i$ -го вида  $j$ -го типа в системе строительного производства полученных путем установления корреляционной зависимости представлен выражением:

$$t_{ij} = 0,47t_{ij}^H + 0,2t_{ij}^{TP} + 0,08t_{ij}^{MP} + 0,25t_{ij}^M \quad (12)$$

В целом уровень технологичности здания образованного совокупностью изделий  $n$ -го вида и  $m$ -го типа вычисляется по формуле:

$$t_{окр} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m K_{ctij}} (0,47 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m t_{ij}^H K_{ctij} + 0,20 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m t_{ij}^{TP} K_{ctij} + 0,08 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m t_{ij}^{MP} K_{ctij} + 0,25 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m t_{ij}^M K_{ctij}) \quad (13)$$

Оценив уровень технологичности проектного ОКР производим оптимизацию каждого  $\rho$ -го производственного процесса и установим уровень его эффективности:

$$T_\rho = \frac{S_{np}^{\rho min}}{S_{np}^s}, \quad (14)$$

где:  $S_{np}^{\rho min}$  - минимальные затраты в  $\rho$ -ой подсистеме возведения здания при оптимальных параметрах производственного процесса  
 $S_{np}^s$  - фактические затраты в  $\rho$ -ой подсистеме возведения здания при достигнутых организационно-технических условиях производственных процесса.

Уравнения связи удельных приведенных затрат ( $S_{пріj}$ ) и  $\mu$ -го показателя технологичности конструкции  $i$ -го вида  $j$ -го типа

| Подсистемы строительного производства   |   | Математические модели процессов  |
|---|---|--|
| Изготовление                            | Стеновый  | $S_{пріj}^{ист} = \frac{\alpha\beta_{ст}}{nF_{gc} V_{кij} K_{\mu} K_{H}^{ст}} \left( \frac{t_c}{C_1} + \frac{t_{ов}}{C_2} + \frac{t_{\phi} \cdot n}{C_1} \right) [K_1 n (0,05 \ell_{кij}^3 + 1038) + K_1' (0,08 \ell_{кij}^3 + 1165) +$ $n (2,85 \ell_{кij}^2 + 1197) + 35 \ell_{кij} + 790 + K_3 n (0,56 \ell_{кij} + 219) + 1' (0,03 \ell_{кij}^3 + 725) + n \cdot 0,0036 \ell_{кij}^4 + 0,024 \ell_{кij}^4 + n \cdot 1598 M_{\phi ij} +$ $+ 80 K_{стij} (m_{кij} - 1)] + \frac{\alpha\beta}{V_{кij} K_{\mu} K_{H}^{ст}} (n f_{\phi} K_{\phi}^{ст} t_{\phi} + f_c K_c^{ст} t_c)$ |
|   | Конвейерный   | $S_{пріj}^{икон} = \frac{\alpha\beta_{к} \tau}{V_{кij} K_{\mu} K_{H}^{кон}} \{0,0018 [K_1 (138,89 \ell_{кij}^2 + 35000) + K_1' m (18,52 \ell_{кij}^2 + 4833) + 0,00017 m \cdot 475 M_{\phi ij} +$ $+ 0,00005 [3,97 \ell_{кij}^3 + 34142 + m \cdot 1042 \ell_{кij}]]\} + [m (0,018 \ell_{кij}^2 + 2,83) + 3 + 0,13 \ell_{кij}] \frac{\alpha\beta}{m r K_{\mu} K_{H}^{кон}}$   |
|   | Кассетный   | $S_{пріj}^{икас} = \frac{\alpha\beta_{кас}}{K_{\mu} K_{H}^{кас}} \left\{ 0,0583 \frac{f_k K_{cp}^k (O t_o + t_{пз})}{V_{кij} \cdot O} + \frac{(O t_o + t_{ов} + t_{пз})}{\phi V_{кij} O} \left[ (O \frac{P_{oc}(U-1) + P_{то}}{U} + 42,20) 0,0157 + [31,84 \right.$ $\left. + 7,13 [O (B_{кij} + B_{рс} \frac{U-1}{U}) + B_{то} (\frac{O}{U} + 1)] \right] \right\} 0,0012$  |
| Транспортирование конструкций и изделий | $S_{пріj}^{тр} = \frac{\alpha\beta_{тр}}{K_{\mu} K_{H}^{тр}} \left\{ \frac{40R}{Q_{кij} d} \left[ (46 + 2,11 \frac{Q_{кij} d}{j}) \frac{a_1 + B_1 Q_{кij}}{R} + (2,2 + 0,13 \frac{Q_{кij} d}{j}) + 0,12 Q_{кij} d + 4 + 0,8 \frac{Q_{кij} d}{j} + \right. \right.$ $\left. + \frac{2}{a_2 + \frac{a_2^2}{\tau_{кij}}} (47,84 + 2,19 \frac{Q_{кij} d}{j} + 14,02 + 12,25 Q_{кij} d) \right\} + \frac{0,06}{F_{гр} C_{тр}} (a_1 + B_1 Q_{кij} + \frac{R}{a_2 + \frac{a_2^2}{\tau_{кij}}} + \frac{R}{V_{тех} K_g}$ |  |
| Монтаж конструкций и изделий            | $S_{пріj}^M = \frac{\alpha\beta_M (A + B V_{кij})}{K_{\mu} K_{H}^M V_{кij} K_{стij} 0,83} \left\{ 1,08 C_{мч}^H [K_{стij} + \frac{\Delta_{ij}}{V_k^H (A + B V_{кij})}] + 1,5 f_M K_{cp}^M K_{стij} + 0,12 K^H \frac{K_{стij}}{F_{y\gamma} C_M} \right.$   |  |

Основой для разработки методики поиска оптимального технологического процесса возведения явилось графическое представление процесса в виде морфологической модели. Это позволило описать процесс в виде каскада экспоненциального типа, который в свою очередь представляет не что иное, как граф построения оптимального технологического процесса [1]. Длина дуг графа соответствует величине приведенных затрат, значения которых устанавливались по экономико-математическим моделям процессов с учетом технологических свойств строительной продукции.

Уровень эффективности процесса возведения здания определяется по формуле:

$$T_{вз} = 0,47 T_H + 0,2 T_{тр} + 0,08 T_{пр} + 0,25 T_M \quad (15)$$

Сравнительная оценка уровня технологичности ОКР с уровнем эффективности процесса возведения здания, позволяет установить причины их низкого уровня. Анализ причин, позволяет разработать план организационно-технических мероприятий и выработать рекомендации по повышению уровня технологичности ОКР (корректировка проектного решения здания) и увеличению уровня эффективности технологического процесса возведения (оптимизация параметров процесса).

**Выводы.** Повышение эффективности возведения полносборных зданий обеспечивается за счет увеличения степени соответствия технологических свойств ОКР зданий организационно-техническим параметрам строительных процессов и осуществляется двумя путями:

- первый путь направлен на корректировку организационно-технических параметров технологических процессов с целью доведения их значений до оптимальных величин, т.е. проектирование технологических процессов, уровень эффективности которых близок к единице;

- второй путь предполагает внесение изменений в проектное решение здания, с целью доведения значений показателей, характеризующих технологические свойства ОКР до оптимальных значений, что соответствует повышению уровня технологичности ОКР и существенно влияет на уровень эффективности возведения полносборных зданий.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Березина Л. Ю. Графы и их применение / Л. Ю. Березина – Москва : Просвещение, 1979. – 143 с.
2. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гмурман. – Москва : Высш. школа, 1977. – 368 с.
3. Гусаков А. А. Основы проектирования организации строительного производства (в условиях АСУ) / А. А. Гусаков. – Москва : Стройиздат, 1977. – 256 с.
4. Гусаков А. А. Организационно-технологическая надежность строительного производства / А. А. Гусаков – Москва : Стройиздат, 1974. – 252 с.
5. Молодецкий В. Р. Концепція надійності в організації будівельного виробництва / В. Р. Молодецький, А. В. Загуменова, А. Ю. Морошкіна // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2014. – № 4. – С. 19-24

### REFERENCES

1. Berezina L. Ju. *Grafy i ih primenenie* [Graphs and their application]. Moskva: Prosveshhenie, 1979, 143 p. (in Russian).
2. Gmurman V. E. *Teoriya veroyatnostej i matematicheskaja statistika* [Theory of probability and mathematical statistics]. Moskva: Vyssh. shkola, 1977, 368 p. (in Russian).
3. Gusakov A. A. *Osnovy proektirovanija organizacii stroitel'nogo proizvodstva (v uslovijah ASU)* [Basics of designing organization of building production (at automated control systems conditions)]. Moskva: Strojizdat, 1977, 256 p. (in Russian).
4. Gusakov A. A. *Organizacionno-tehnologicheskaja nadezhnost' stroitel'nogo proizvodstva* [Organizational-technological reliability of building production]. Moskva: Strojizdat, 1974, 252 p. (in Russian).
5. Mlodec'kij V. R., Zagumenova A. V. and Moroshkina A. Ju. *Koncepcija nadijnosti v organizacii budivel'nogo virobnictva* [The concept of reliability in the organization of building production]. Bulletin of Pridneprov'ska State Academy of Civil

Рецензент: д-р т. н., проф. Т. С. Кравчуновська

Надійшла до редколегії: 25.11.2015 р. Прийнята до друку: 27.11.2015 р.