

*Лебедев В.М., канд. техн. наук, доц.,**Ломтев И.А., аспирант**Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЕКТОВ ПОТОЧНОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ОБЪЕКТОВ И КОМПЛЕКСОВ

[lebedev.lebedev.v.m@yandex.ru](mailto:lebedev.lebedev.v.m@yandex.ru)

*Рассмотрена возможность анализировать и оценивать вероятность выполнения проектов поточного строительства реконструкции, обеспечение сокращения продолжительности реконструкции объектов, возможность координировать оптимальное распределение ресурсов.*

**Ключевые слова:** *имитационное моделирование, проект поточного строительства реконструкции, поточное строительство (реконструкция), системокванты.*

Имитационное моделирование является, по существу, единственным методом исследования сложных реконструктивных строительных систем, где натурный эксперимент практически неосуществим, либо требует больших затрат времени, средств и экономически нецелесообразен. Имитационные модели позволяют не только анализировать все существующие системы, но на основе этого опыта и любых гипотез прогнозировать и проектировать возможные, оптимальные по любому принятому критерию системы, обладающие принципиально новыми организационно-технологическими качествами [3, 4].

Научную основу моделируемой производственной системы составляет теория поточного строительства и реконструкции. Имитационная модель ППС(Р) должна отражать объемно – конструктивные характеристики реконструируемых строительных объектов, организационно-технологические особенности их реконструкции и возведения, многовариантность и вероятностный характер строительного производства. Структуру организационно – технологических моделей поточной реконструкции необходимо строить по блочному принципу, что позволяет при внедрении ППС(Р) без коренной перестройки описывать различные производственные ситуации и решать практические задачи. Модели должны содержать набор понятий, обеспечивающих описание реальной реконструктивной строительной системы и ее функционирования, полнота описания системы достигается посредством отражения в моделях статистических и динамических взаимосвязей между элементами моделируемой системы. Модели должны содержать описание цели рассматриваемой системы и формальной аналог оперативного управления, существующего в реальных производственных условиях, генерировать ситуации, возникающие под воздействием случайных возмущающих факторов.

При разработке организационно – технологических моделей поточного строительства (реконструкции) удобен в применении блочно-иерархический подход, согласно которому объекты делятся на базовые элементы (захватки, ярусы, секции). Базовый элемент (модуль) – элементарная часть объекта, которую невозможно (или нецелесообразно) разделять на более мелкие части. Параметры базового элемента составляют множество его свойств, называемых атрибутами. Супер элемент (супермодуль) – типовая совокупность взаимосвязанных базовых элементов (модулей), используемая наравне с базовыми элементами. Законченная структура – совокупность взаимосвязанных модулей (супермодулей), представляющая собой возможный вариант структуры объекта (С.Р. Владимирский [10]).

При моделировании сложных систем реконструктивного строительного производства теория функциональных систем П.К. Анохина [1, 2] позволяет провести оценку адекватности модели по степени отражения (достоверности, надежности, комплексности) результата функционирования. Иерархия подсистем должна формироваться как иерархия результатов, что открывает способ и механизм соединения иерархических уровней. Функциональные системы обычно состоят из неоднородных элементов подсистем, каждый из которых несет свою функциональную и специфическую нагрузку в достижении результата. Эти подсистемы, в свою очередь, расчленяются на ряд неоднородных элементов подсистем, которые также не должны рассматриваться разрозненно и вне единой функциональной системы, созданной для достижения общего результата цели. Цель рассматривается как заданный результат; критерий – как признак, по которому определяется соответствие этому результату; ограничения – степень свободы, необходимая для достижения результата. При обеспечении единства результата или иерархии результатов можно построить

строгую логику разработки и внедрения проектов поточной реконструкции объектов и комплексов [3, 4, 8, 9].

Адаптация концепции системоквантов К.В. Судакова [7, 11] весьма перспективна при разработке и внедрении проектов поточного строительства (реконструкции) ППС(Р) объектов и комплексов. Системокванты рассматриваются как дискретные единицы интегративной системной деятельности по выполнению строительных процессов в пространственно-временном континууме. Для самых разных реконструируемых и строительных объектов общность концепции системоквантов характеризуется тем, что каждый системоквант проявляется узловыми механизмами теории функциональных систем (афферентный синтез, принятия решения, акцептор результата действия, эфферентный синтез и его оценка) [5, 7].

Адаптация теории функциональных систем П.К. Анохина и концепции системоквантов К.В. Судакова к системе реконструктивного строительного производства включает следующие положения:

- наличие приспособительного результата во всякой саморегулирующейся и самоорганизующейся системе радикально ориентирует все потоки информации в системе на этот результат;

- любой элемент системы проводит или преобразует информацию только в эквиваленте какой-то доли этого результата;

- каждый элемент системы, информация которого не отражает параметров результата, делается помехой для системы и немедленно преодолевается пластическими перестройками всей системы в целом [5, 6].

Построение имитационной модели возведения (реконструкции) строительных объектов и комплексов представлено на рис. 1.

Основными элементами системы возведения (реконструкции) объекта являются: сам объект, средства для его возведения и набор управляющих правил, согласно которым осуществляется целенаправленное взаимодействие объекта со средствами возведения в общем процессе функционирования системы. В имитационной модели каждый элемент рассматриваемой системы представляется совокупностью своих основных характеристик [3, 4].

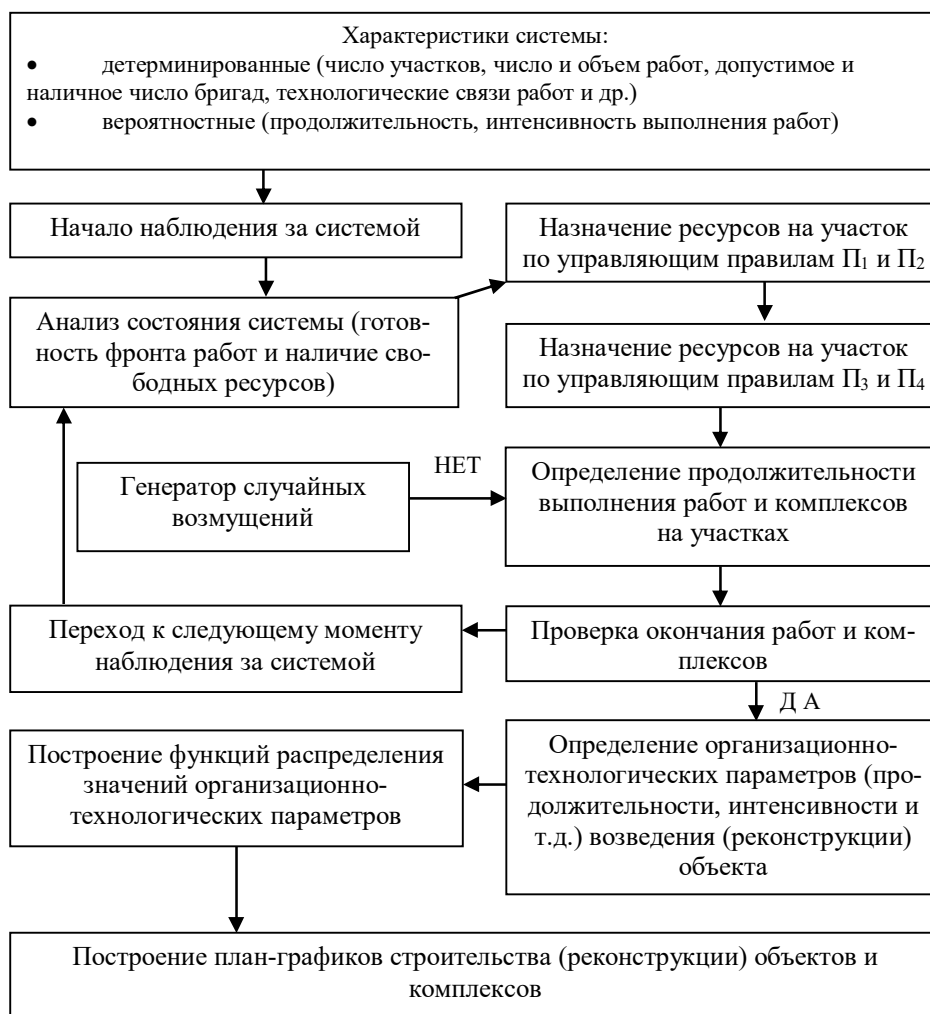


Рис. 1. Схема построения имитационной модели разработки и внедрения ППС(Р) объектов и комплексов

Характеристики объекта реконструкции:

$$n; m; V = \{V_{ij}\}; G^i = \{G_{j_1, j_2}^i\};$$

Где  $n$  – число участков;  $m$  – число работ;  $V$  – матрица объемов работ на участках;  $V_{ij}$  – объем

$$G_{j_1, j_2}^i = \begin{cases} 1, & \text{если на } i\text{-м участке } j_1\text{-я работа готовит фронт работ } j_2\text{-й работе;} \\ 0, & \text{если на } i\text{-м участке } j_1\text{-я работа не готовит фронт работ } j_2\text{-й работе.} \end{cases}$$

Если комплексы работ на участках будут одинаковы, технологический граф  $G$  будет единым для всех участков объекта.

Характеристики средств возведения объекта:

$$r = \{r_1, r_2, \dots, r_j, \dots, r_m\}; D = \{d_{ij}\};$$

$$L = \{l_1, l_2, \dots, l_j, \dots, l_m\};$$

где  $r$  – матрица-вектор наличного количества ресурсов типа мощностей (бригад с приданными машинами) каждого типа на стройплощадке;  $r_j$  – наличное число ресурсов  $j$ -го типа на стройплощадке (элемент матрицы-вектора  $r$ );  $D$  – матрица максимального технологически допустимого количества ресурсов каждого типа на участках;  $d_{ij}$  – максимальное технологически допустимое число ресурсов  $j$ -го типа на  $i$ -м участке при условии их одновременной производительной работы (элемент матрицы  $D$ );  $L$  – матрица-вектор интенсивностей работы одной бригады каждого типа за смену;  $l_j$  – интенсивность работы (выработка) одного ресурса  $j$ -го типа за смену (элемент матрицы-вектора  $L$ ).

Набор управляющих правил:

$$П = П1, П2, П3, П4;$$

где П1 – правило, разрешающее в момент времени  $t$  начать  $j$ -ю работу на  $i$ -м участке лишь в том случае, если к этому моменту на участке выполнены все работы, технологически предшествующие  $j$ -й работе (в соответствии с технологической последовательностью выполнения работ на  $i$ -м участке — график  $G_i$ ); П2 – правило, разрешающее в момент времени  $t$  начать  $j$ -ю работу на  $i$ -м участке лишь в том случае, если к этому моменту участок будет свободен; П3 – правило выбора в момент времени  $t$  назначения  $j$ -й работы на  $i$ -й участок по системе приоритетов в следующем порядке:

1. если есть несколько свободных типов ресурсов, претендующих на занятие свободных участков, то в первую очередь производится назначение того ресурса, который претендует на большее число свободных участков;

2. если  $j$ -й ресурс может начать работу на любом из нескольких свободных участков, то в первую очередь производится назначение ресурса на  $i$ -й участок, на котором суммарная условная трудоемкость (в бригадо-днях) всех

$j$ -й работ на  $i$ -м участке (элемент матрицы  $V$ );  $G^i$  – технологическая последовательность выполнения работ на  $i$ -м участке, выраженная графиком и представленная в матричной форме;  $G_{j_1, j_2}^i$  – элемент технологической матрицы;

оставшихся работ максимальная, причем из наличного числа ресурсов  $j$ -го типа на  $i$ -й участок назначается число, соответствующее максимальному технологически допустимому числу ресурса  $j$ -го типа на  $i$ -м участке ( $d_{ij}$  из матрицы  $D$ ); 3) если после назначения  $j$ -й работы на  $i$ -й участок, остались незагруженными ресурсы  $j$ -го типа, то назначение  $j$ -го ресурса на оставшиеся свободные участки производится по предыдущему правилу;

П4 – правило назначения  $j$ -го ресурса на участок, первый по номеру из свободных участков, если в системе приоритетов правила ПЗ не существует предпочтительного выбора [3, 4, 8, 9].

Каждое из перечисленных управляющих правил представляется в рассматриваемой имитационной модели ППС(Р) соответствующим алгоритмом, случайными величинами в рассматриваемой модели являются продолжительности отдельных работ комплекса  $(dt)_{ij}$ , при этом характер функции распределения времени выполнения каждой из работ считается известным и для полного вероятностного описания указанных случайных величин достаточно задания двух величин: математического ожидания и дисперсии. Предполагается, что свободные в момент наблюдения  $t$  участки, оставшиеся не занятыми после назначения освободившихся к этому моменту ресурсов, простаивают в ожидании ресурса и свободные ресурсы, оставшиеся не назначенными ни на один из участков, простаивают в ожидании фронта работ. Моделируемая система ППС(Р) наблюдается в дискретные моменты времени  $0, t_1, t_2, \dots, t_v, \dots$ , причем выбор значений  $t_v$  производится таким образом, что моменту времени  $0$  соответствует прибытие на стройплощадку первых ресурсов, а следующие моменты времени характеризуются либо окончанием работы на участке, либо прибытием новых ресурсов. Схема моделирующего алгоритма представлена на рис. 2. В соответствии с алгоритмом в каждый момент наблюдения производится распределения по участкам ресурсов, имеющихся на стройплощадке, вычисляются случайные продолжительности работ на участках  $(dt)_{ij}$  и моменты их окончания  $V_{ij}$  с учетом выделенного количества ресурсов и функций распределения продолжительности работ, уста-

навливается продолжительность выполнения всего комплекса работ на объекте и по серии ее реализации строится функция распределения. Время работы моделирующей программы определяется видом реконструируемого строительного объекта и используемой ЭВМ [8, 9].

Использование разработанной имитационной модели для исследования возведения промышленных объектов показало ее широкие возможности для оценки организационно-

технологической надежности и установления различных зависимостей, имеющих важное практическое значение. При построении имитационной модели организации возведения строительных объектов использован один из основных принципов ситуационного управления: соизмерение совокупности управляющих правил с многообразием состояний моделируемой системы.



Рис. 2. Схема моделирующего алгоритма внедрения ППС(Р)

В модели рассматриваются три группы возможных состояний моделируемой системы: освободившимся ресурсам не предоставлен фронт работ в объеме свободного участка; на каждом из свободных участков предоставлен фронт работ только одному из незанятых ресурсов; на свободных участках предоставлен фронт работ для двух и более незанятых ресурсов. Мо-

дель построена таким образом, что блоку управления предшествует блок распознавания состояния системы, определяющий характер отношений между открывшимися фронтами работ (объект) и незанятыми ресурсами (средствами возведения объекта) [3, 4].

Описанная имитационная модель возведения строительных объектов и комплексов поз-

воляет не только оценивать (анализировать), но и формировать (синтезировать) при заданном уровне ОТН оптимальные по выбранному критерию календарные планы.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анохин П.К. Избранные труды: кибернетика функциональных систем / Под ред. К.В. Судакова / Сост. В.А.Макаров. М.: Медицина, 1998. 400с.
2. Анохин П.К. Избр. тр. Философские аспекты теории функциональной системы. М.: Изд-во Наука, 1978. 400с.
3. Гусаков А.А. Системотехника строительства. М.: Стройиздат, 1983. 440с.
4. Гусаков А.А. Системотехника строительства. М.: Стройиздат, 1993. 368с.
5. Гусаков А.А. Новая парадигма строительной деятельности защитит нашу жизнь. // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. №5. 2004.
6. Дикман Л.Г. Организация и планирование строительного производства: Управление строительными предприятиями с основами АСУ: 3-е изд., перераб. и доп.- М.: Высш. шк., 1988.- 559с.
7. Информационные модели функциональных систем /под ред. К.В. Судакова и А.А. Гусакова. М.: Фонд «Новое тысячелетие», 2004. 304с.
8. Лебедев В.М. Системотехника управления проектами реконструкции городской застройки. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. 230 с.
9. Лебедев В.М. Системотехника управления проектами реконструкции городской застройки. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. 254 с.
10. Системотехника. Под. ред. А.А. Гусакова. М.: Фонд «Новое тысячелетие», 2002. 768с.
11. Судаков К.В., Агаян Г.Ц. и др. Системокванты физиологических процессов. М.: Межд. Гуманит. фонд арменоведения им. акад. Ц.П. Агаяна, 1997.

---

**Lebedev V.M., Lomtev I.A.**

### **SIMULATION OF STREAM PROJECT FOR RECONSTRUCTION OF OBJECTS AND COMPLEXES**

*The possibility to analyze and assess the likelihood of performing in-line construction renovation projects, providing reducing the length reconstruction of the facilities, the ability to coordinate the optimal allocation of resources.*

**Key words:** *simulation, in-line construction project of reconstruction, in-line construction (reconstruction), sistemokvanty.*

---

**Лебедев Владимир Михайлович**, канд. техн. наук, доцент кафедры строительства и городского хозяйства.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: lebedev.lebedev.v.m@yandex.ru

**Ломтев Игорь Александрович**, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: Lomtew\_igor@list.ru