

ИМИТАЦИОННОЕ ЛОГИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ НА МНГОВАРИАНТНОЙ ОСНОВЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМБИНАТОРНОГО ПОДХОДА В РАМКАХ АВТОМАТИЗАЦИИ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

SIMULATION LOGICAL AND MATHEMATICAL MODELING OF CONSTRUCTION PROCESSES ON A MULTIVARIATE BASIS USING A COMBINATORIAL APPROACH IN THE FRAMEWORK OF AUTOMATION OF ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL DESIGN

**Yu. Nikolaev
Yu. Gushchina
A. Alsaadi
Al Batkhawi Ahmed Ali-Qadom
K. Chetyrev**

Summary. The article presents an approach to the simulation of logical and mathematical modeling of construction processes on a multivariate basis using combinatorics methods to generate all possible feasible organizational and technological solutions for the production of construction works. The developed simulation logical-mathematical model is intended for automation of organizational and technological design of construction production on a variant basis and improvement of existing computer technologies of design of construction production. The essence of the proposed approach consists in the automated formation of a complete set of all feasible organizational and technological solutions (hereinafter referred to as OTR) for the production of construction works at each design stage based on the capabilities of the contractor construction and installation organization, the conditions of work, the characteristics of the construction object, followed by the selection of the best solution according to the specified criteria. The generation of alternative OTPs for the production of works at each stage of design is carried out using combinatorics methods with the generation of a complete set of feasible alternatives. If it is possible (clear criteria) to select preferred options at a certain stage of design (from the point of view of assessing the impact of the decision not only on the particular indicators of a certain stage of design, but the systemic impact on all stages and performance indicators of construction production), then such selection is carried out. If it is not possible to select the best options at a certain stage of design, then all generated alternative options for organizational and technological solutions for the production of construction works are transferred

Николаев Юрий Николаевич

*К.э.н., доцент, Волгоградский государственный технический университет
yuri-nikolaev@yandex.ru*

Гущина Юлия Валерьевна

*К.э.н., доцент, Волгоградский государственный технический университет
jgushina@mail.ru*

Алсаади Ахмед Шакир-Исса

*Волгоградский государственный технический университет
ahmedalsaadi309@gmail.com*

Аль Батхави Ахмед Али-Кадом

*Волгоградский государственный технический университет
a.russia2014@gmail.com*

Четырев Константин Павлович

Волгоградский государственный технический университет

Аннотация. В статье представлен подход к имитационному логико-математическому моделированию строительных процессов на многовариантной основе с использованием методов комбинаторики для генерации всех возможных осуществимых организационно-технологических решений производства строительных работ. Разработанная имитационная логико-математическая модель предназначена для автоматизации организационно-технологического проектирования строительного производства на вариантной основе и совершенствования существующих компьютерных технологий проектирования строительного производства. Суть предложенного подхода состоит в автоматизированном формировании полного множества всех осуществимых организационно-технологических решений (далее по тексту OTP) производства строительных работ на каждом этапе проектирования исходя из возможностей подрядной строительной организации, условий производства работ, характеристик объекта строительства с последующим выбором наилучшего решения по заданным критериям. Генерация альтернативных OTP производства работ на каждом этапе проектирования осуществляется с использованием методов комбинаторики с генерацией полного множества осуществимых альтернативных вариантов. В случае, если есть возможность (четкие критерии) отбора предпочтительных вариантов на определенном этапе проектирования (с точки зрения оценки влияния решения не только на частные показатели определенного этапа проектирования, а системного влияния на все этапы и результативные показатели строительного производства), то такой отбор

to the subsequent stages of design (modeling). Ultimately, the choice of the best option for the implementation of the construction process occurs after the completion of the entire complex of stages and tasks of organizational and technological design (modeling), taking into account how each particular solution affects the entire complex of interrelated tasks and stages, which allows for the full use of a systematic approach in the design (modeling) of construction production.

Keywords: simulation modeling, logical and mathematical modeling, computer technologies of organizational and technological design, automation of construction production design, combinatorial approach to modeling, multivariate design and modeling.

Введение

При проектировании строительного производства на различных уровнях и этапах данного процесса, как правило, существуют альтернативные варианты принятия организационно-технологических решений. Выбор того или иного решения редко определяется четко заданными критериями для определенных условий их реализации. Часто выбор предпочтительного из существующих альтернативных решений принимается на основании субъективного мнения специалистов-проектировщиков без тщательной проработки альтернатив. Речь идет об альтернативных технологиях производства строительно-монтажных работ, вариантов формирования комплектов строительных машин и бригад рабочих-строителей, возможных схем пространственного членения объекта строительства на захватки (участки и пр.), альтернативных календарных моделях строительных процессов и прочих вопросов планирования, предполагающих возможности вариантной проработки решений.

Действующая практика проектирования строительного производства практически не предполагает вариантной проработки решений — в большинстве случаев формируется некая комбинация решений на каждом уровне, которая соответствует условиям, ограничениям, типовым технологическим картам. Вариантность проработки присутствует в минимальном объеме, например, подбор альтернативных комплектов строительных машин, их сравнение и выбор, т.е. достаточно фрагментарно [3–5].

При этом вариативность организационно-технологического проектирования является одним из базовых принципов системотехники строительства [2].

выполняется. Если на определенном этапе проектирования невозможно выполнить отбор наилучших вариантов, то все сгенерированные альтернативные варианты организационно-технологических решений производства строительных работ передаются на последующие этапы проектирования (моделирования). В конечном итоге выбор лучшего варианта осуществления строительного процесса происходит после завершения всего комплекса этапов и задач организационно-технологического проектирования (моделирования), с учетом того, как каждое частное решение влияет на весь комплекс взаимосвязанных задач и этапов, что позволяет в полной мере использовать системный подход в проектировании (моделировании) строительного производства.

Ключевые слова: имитационное моделирование, логико-математическое моделирование, компьютерные технологии организационно-технологического проектирования, автоматизация проектирования строительного производства, комбинаторный подход к моделированию, многовариантное проектирование и моделирование.

Существует направление в области управления, планирования, которое получило свое развитие из достаточно давно сформулированных и широко используемых методов морфологического анализа, который получил название комбинаторного подхода [1]. Комбинаторный подход создан с учетом различных областей знания, таких, как патентология, теория решения изобретательских задач, морфологический анализ и др. Морфологический метод способен охватить почти все предполагаемые решения задачи. Этот метод для решения технических задач предложил астроном швейцарского происхождения, проживающий в США, Ф. Цвикки. Под «морфологией» понимаются различная структура и различные внешние формы создаваемого объекта. В данном методе совершенствуемый объект расчленяется по существенным признакам: блокам, узлам, частям и др. Когда объектом является технология, ее процесс делят на этапы. Затем для каждого признака указывают возможные варианты его исполнения (чем больше вариантов, тем лучше). Каждое решение задачи должно иметь по одному варианту для каждого признака. Усовершенствованный морфологический метод назван комбинаторным. Комбинаторика — термин, взятый из раздела математики. Из комбинаторики в основном используются сочетания, методы перебора. Комбинаторный метод, как и морфологический, состоит из двух частей: анализа и синтеза. Для каждого признака объекта так же, как и в морфологическом методе, составляют перечни их вариантов; решения получают при выборе объекта по одному варианту из каждого признака. При этом суть комбинаторного подхода состоит в полном переборе всех возможных сочетаний (комбинаций) значений признаков. Таким образом, в приложении к проектированию строительного производства комбинаторный подход должен сводиться к генерации всех осуществимых организационно-технологических реше-

ний производства строительных работ на всех этапах проектирования, соответствующих заданным условиям и ограничениям.

При этом преимущества комбинаторного подхода в сформулированном выше понимании данного термина применительно к проектированию строительного производства очевидны — при генерации всех осуществимых вариантов реализации строительного производства становится проще не упустить тот самый «лучший» вариант, комбинацию. Ведь в традиционном подходе к проектированию специалист формирует комбинацию решений, которая может быть изначально не лучшая, которую в случае не соответствия установленным условиям и ограничениям начинает оптимизировать (например, увеличивать количество ресурсов или степень совмещения процессов для сокращения продолжительности строительства, заменять одни технологии на другие для интенсификации процесса и т.п.). Но есть и очевидные недостатки комбинаторного подхода — количество альтернативных вариантов реализации строительного процесса может быть крайне велико (от нескольких тысяч до миллионов и миллиардов), что делает невозможным оценить каждый из вариантов специалистом и это налагает особые условия к реализации комбинаторного подхода. Первое, это безусловное применение компьютерных технологий и соответствующих алгоритмов автоматизации проектирования (понятно, что специалист «вручную» не способен сформировать, комплексно проработать и сравнить не то что миллионы, но и десятки альтернативных вариантов строительства) и второе, алгоритмы должны обеспечивать вычленение вариантов реализации строительного процесса, которые может и осуществимы, но не соответствуют практике строительства, нормам, здравому смыслу и т.п.

Материалы и методы

В качестве методологической и методической основы генерации альтернатив на всех этапах проектирования (моделирования) используются комбинаторный подход, основанный на процедурах анализа (генерации альтернативных осуществимых решений для определенного этапа проектирования, например определения вариантов комплектации строительного процесса строительными машинами или определения альтернативных технологий производства строительных работ на уровне простых строительных технологических процессов) и синтеза (генерации всех возможных осуществимых вариантов комплексных строительных процессов на основе определения всех возможных осуществимых комбинаций осуществления простых строительных технологических процессов в составе сложных и комплексных).

Результаты

Имитационное логико-математическое описание строительного производства предполагает решение комплекса взаимосвязанных задач, которые возможно объединить в следующие этапы:

1. Формирование организационно-технологических решений на уровне простых технологических процессов (определение состава и объема работ, выбор технологии производства работ, подбор строительных машин и механизмов, определение состава и расчет потребности в организационно-технологических ресурсах, формирование технологических схем производства работ);
2. Формирование организационно-технологических решений на уровне комплексных и сложных технологических процессов (определение возможных комбинаций альтернативных организационно-технологических решений осуществления простых технологических процессов в составе комплексных и сложных);
3. Построение календарной модели строительного производства, включая графики движения ресурсов (рабочих и машин), потребности и доставки строительных материалов и конструкций;
4. Формирование строительного генерального плана (планирование инфраструктуры строительной площадки, расчет потребности во временных зданиях и сооружениях, электроэнергии, воде, складских площадях и т.п.).

В рамках разработки имитационной логико-математической модели строительного производства на каждом из вышеперечисленных этапов проектирования предлагается реализация комбинаторного подхода: либо, в рамках анализа — формирование набора всех осуществимых решений, либо, в рамках синтеза — определение всех возможных комбинаций из решений, сформированных на предыдущем этапе.

Так, на уровне формирования решений реализации простых технологических процессов определяются альтернативные технологии их осуществления, для каждой технологии формируются альтернативные варианты их осуществления с точки зрения возможных комбинаций использования имеющихся организационно-технологических ресурсов (по составу бригад, строительных машин) (реализуется процедура анализа в рамках комбинаторного подхода). Конечным результатом вариантного формирования организационно-технологических решений на уровне простых технологических процессов является набор всех осуществимых решений их реализации с определенным составом организационно-технологических ресурсов (рабочих, строительных машин



Рис. 1. Принципиальная схема реализации комбинаторного подхода в части генерации альтернативных вариантов выполнения простых технологических процессов

и механизмов, строительных материалов, конструкций и изделий), рассчитанной интенсивностью, продолжительностью и прямыми затратами на производство работ. Принципиальная схема формирования вариантов осуществления простых технологических процессов представлена на рис. 1.

Простые технологические процессы в зависимости от степени механизации делят на немеханизированные, механизированные и полностью механизированные. Тип технологического процесса определяет особенности алгоритма многовариантного организационно-технологического проектирования решений производства работ [6–8].

Вариантность организационно-технологических решений выполнения немеханизированных технологических процессов определяется количеством звеньев в составе бригады, которые строительная организация может сформировать исходя из имеющейся численности рабочих соответствующей специальности и квалификации, а также обеспеченности необходимыми для их работы технологической оснасткой, приспособлениями и т.п. Наименьшая численность рабочих в бригаде соот-

ветствует минимальному составу одного звена рабочих, наибольшая — максимальным числом звеньев, которое может укомплектовать строительная организация, т.е. общей численностью рабочих соответствующей специальности и квалификации, имеющейся для выполнения данного технологического процесса.

Тогда число сформированных для немеханизированного технологического процесса вариантов будет равно:

$$n = N/N_{зв} \tag{1}$$

N — общая численность рабочих соответствующей специальности и квалификации, имеющихся у строительной организации, для выполнения определенного вида работ;

$N_{зв}$ — численность одного звена для выполнения работ (рекомендуемая численность звена рабочих приводится в соответствующих сборниках ЕНИР).

Численность рабочих для каждого варианта вычисляется:

$$N_i = n_i * N_{зв}, \text{ где } n_i = 1 \dots n \tag{2}$$

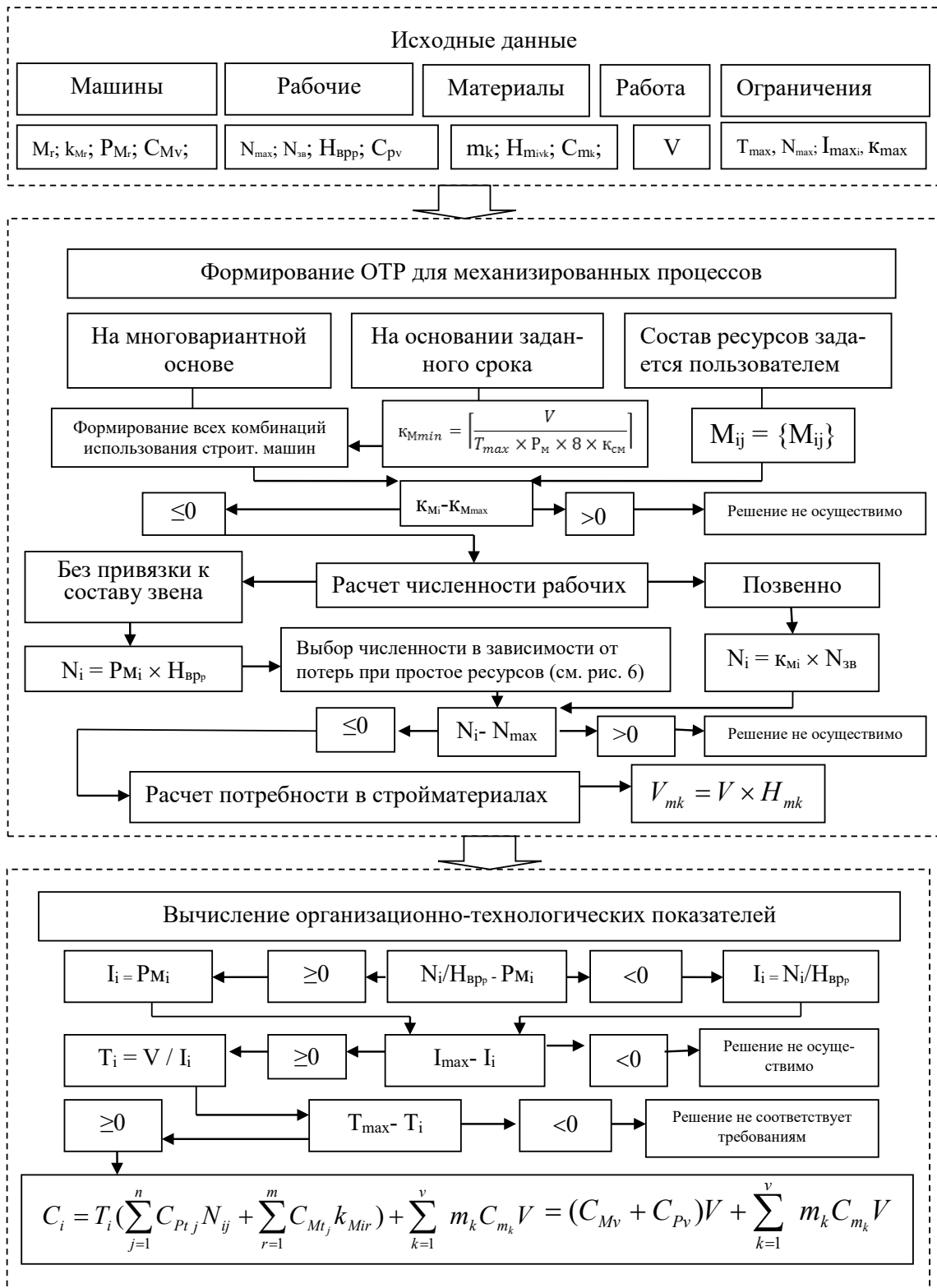


Рис. 2. Имитационная логико-математическая модель автоматизированного формирования ОТР для механизированных технологических процессов

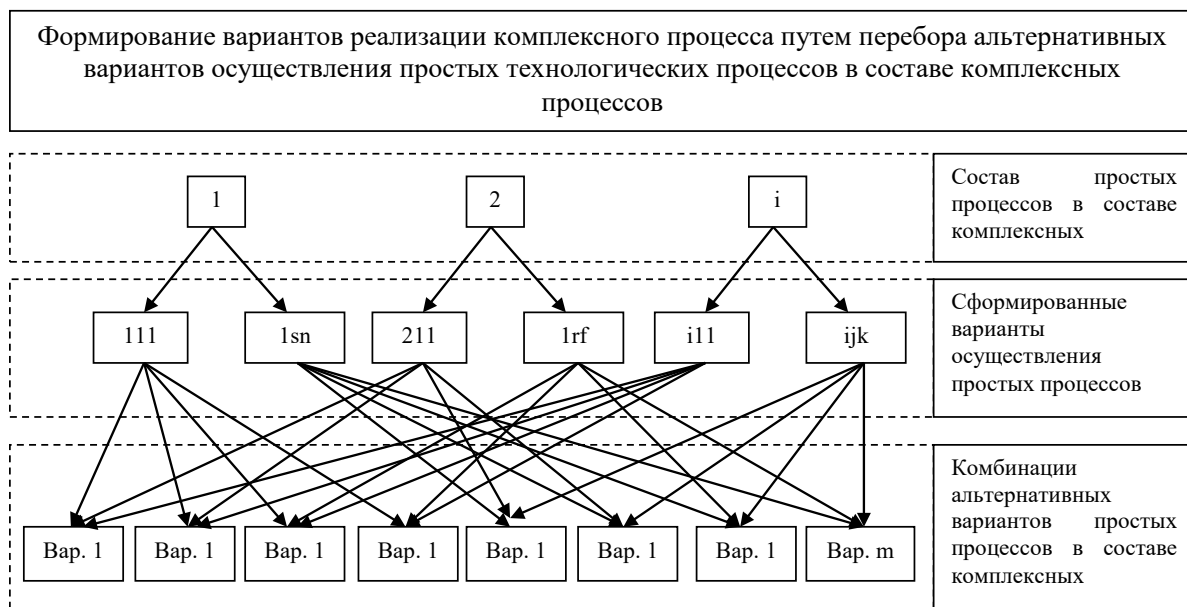


Рис. 3. Принципиальная схема реализации комбинаторного подхода в части формирования альтернативных вариантов осуществления комплексных процессов

Далее для каждого альтернативного варианта выполнения работ вычисляются организационно-технологические параметры (интенсивность, срок, прямые затраты и пр.).

Для механизированных технологических процессов вариантность решений определяется составом строительных машин, которые имеются в распоряжении у строительной организации для выполнения данного технологического процесса. Вариантное формирование механизированных технологических процессов осуществляется путем определения всех осуществимых комбинаций использования имеющихся строительных машин [9]. Далее для каждого варианта осуществляется расчет организационно-технологических параметров производства работ.

На рис. 2 представлен пример модели для механизированного технологического процесса.

На уровне формирования комплексных строительных процессов варианты генерируются путем определения всех возможных комбинаций альтернативных вариантов осуществления простых технологических процессов в составе комплексных (реализуется процедура синтеза в рамках комбинаторного подхода). Принципиальная схема реализации комбинаторного подхода при формировании вариантов комплексных и сложных процессов представлена на рис. 3.

Перебор вариантов выполнения простых технологических процессов для формировании вариантов

осуществления комплексного технологического процесса может осуществляться в форме комбинаторной матрицы, что представлено ниже в таблице (в примере использованы следующие параметры технологического процесса: число составляющих простых технологических процессов — 3, число вариантов организационно-технологических решений для каждого простого технологического процесса — 2):

- ◆ процесс 1 — альтернативные варианты осуществления 1.1 и 1.2;
- ◆ процесс 2 — альтернативные варианты осуществления 2.1 и 2.2;
- ◆ процесс 3 — альтернативные варианты осуществления 3.1 и 3.2.

Представленные выше номера вариантов (1.1, 1.2, 2.1, 2.2, 3.1, 3.2) являются уникальными идентификаторами сгенерированных компьютерной программой альтернативных организационно-технологических решений, характеризующихся определенной технологией производства работ, составом предполагаемых к использованию ресурсов, интенсивностью, продолжительностью и прямыми затратами на производство работ.

На уровне календарного моделирования для каждой комбинации осуществления комплексного строительного процесса формируются альтернативные варианты календарной модели путем рассмотрения всех возможных схем пространственного членения объекта строительства и/или совмещения строительных процессов

Таблица 1. Комбинаторная матрица

Варианты комплексного технологического процесса	Комбинации вариантов простых технологических процессов в составе комплексного		
	Процесс1	Процесс2	Процесс3
1	1.1	2.1	3.1
2	1.2	2.1	3.1
3	1.1	2.2	3.1
4	1.2	2.2	3.1
5	1.1	2.1	3.2
6	1.2	2.1	3.2
7	1.1	2.2	3.2
8	1.2	2.2	3.2

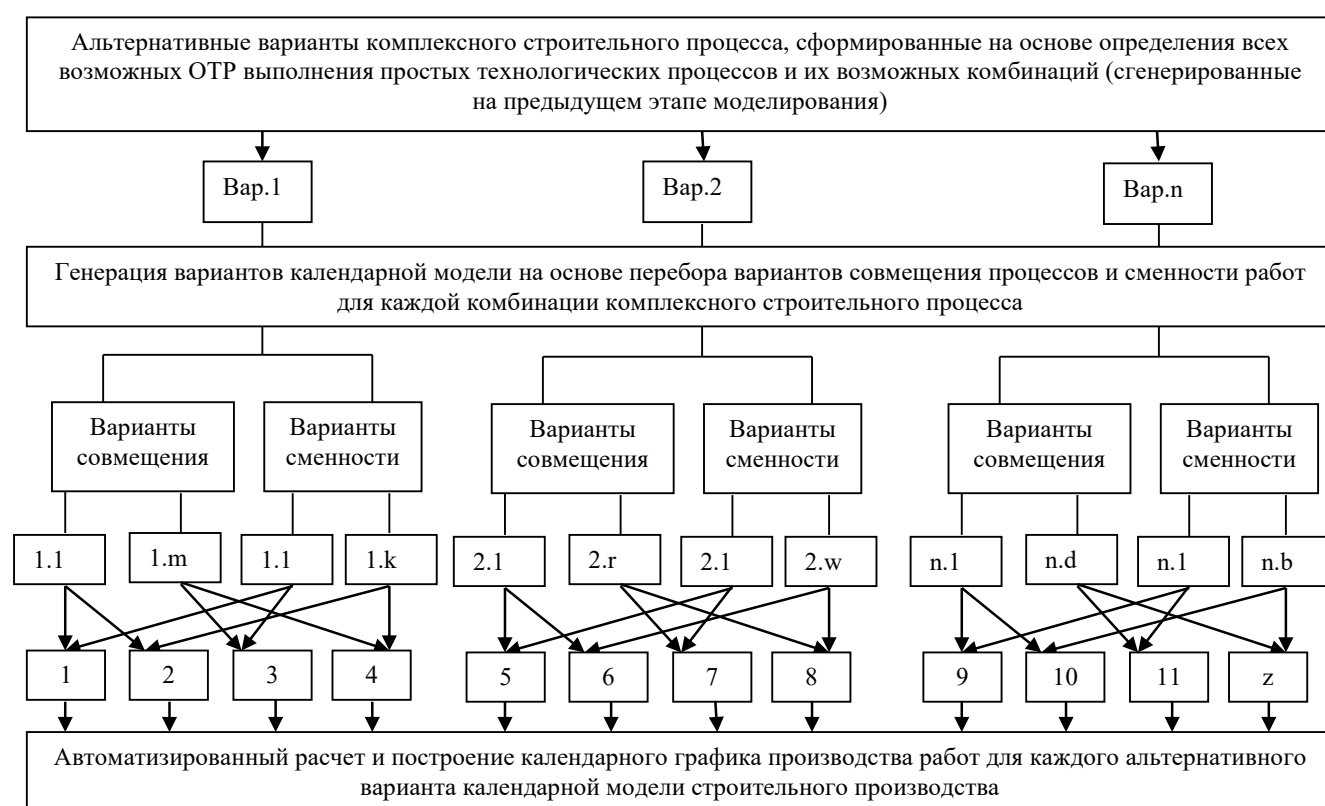


Рис. 4. Принципиальная схема реализации комбинаторного подхода к формированию календарной модели строительного производства на вариантной основе

во времени, сменности работ (реализуется процедура анализа в рамках комбинаторного подхода), определяются комбинации возможных альтернативных решений для отдельных частей календарной модели в составе комплексной (реализуется процедура синтеза в рамках комбинаторного подхода) и выполняется расчет календарного графика производства работ для каждого варианта. Принципиальная схема формирования вариантов календарной модели строительного производства представлена на рис. 4.

Полученные альтернативные варианты производства строительных работ сравниваются по заданным критериям (продолжительности, стоимости, организационно-технологической надежности) и выбирается наилучший вариант.

Далее для выбранного наилучшего по заданным критериям варианта организационно-технологических решений осуществления строительного процесса выполняется расчет строительного генерального плана

(потребности в складских площадях, бытового городка, электроэнергии и пр.).

На завершающем этапе формируется комплект выходной документации для выбранного лучшего варианта (ведомости объемов работ, ведомости потребности и доставки организационно-технологических ресурсов, календарный график производства работ, технологические карты, строительный генеральный план и пр.).

Обсуждение

Особенностью представленного комбинаторного подхода к многовариантному логико-математическому моделированию строительного процесса является генерация всех осуществимых решений производства работ на каждом из этапов организационно-технологического проектирования. Для генерации используются методы комбинаторики, основанные на анализе и синтезе, соответствующие инструменты, например, комбинаторная матрица. В качестве направлений развития рассмотренного подхода является разработка логико-математической модели (алгоритма) многовариантного формирова-

ния календарного графика производства строительных работ на комбинаторной основе.

Вывод

Следует отметить, что на основании предложенных имитационных логико-математических моделей многовариантного формирования организационно-технологических решений производства строительных работ были разработаны прототипы компьютерных программ для вариантного проектирования строительного производства, результаты тестирования которых говорят об обоснованности предложенных подходов и моделей, их адекватности поставленным целям и задачам многовариантного проектирования. Внедрение предложенного подхода и логико-математических моделей многовариантного формирования организационно-технологических решений в сфере автоматизации проектирования строительного производства позволит вывести такие системы на новый качественный уровень, обеспечивающий пользователям конкурентные преимущества и эффективность принимаемых решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глазунов В.Н. Концептуальное проектирование: теория изобретательства. URSS. 2018. — 512 с., с. 12–15.
2. Гусаков А.А., Богомолов Ю.М., Брехман А.И. Системотехника строительства: энциклопедический словарь / под ред. А.А. Гусакова. 2-е изд., доп. и перераб. М.: Изд-во АСВ, 2004. 320 с.
3. Абушаев Б.А. Модель вариантного технологического проектирования устройства котлована // Инженерный вестник Дона, 2020, № 4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2020/6354.
4. Кузнецов С.М., Кузнецова К.С., Суворов А.Д., Маслов И.А. Автоматизированная система формирования парка строительных машин // Жилищное строительство. — 2007. — № 3, С. 8–10.
5. Османов С.Г., Манойленко А.Ю., Литовка В.В. Выбор вариантов механизации бетонных работ в монолитно-каркасном строительстве // Инженерный вестник Дона, 2020, № 4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2020/6354.
6. Николаев Ю.Н., Прокопов С.В., Михайлов О.В., Овсепян О.С., Мазин С.А. Формирование и оценка эффективности организационно-технологических решений строительного производства на основе синтеза методов логико-математического моделирования строительной деятельности и экономического моделирования деятельности предприятия // Московский экономический журнал. — 2020. — № 6. — С. 78.
7. Nikolaev Y.N., Torgashina S.N., Ovsepyan O.S., Mazin S.A. Algorithm for the automated formation of organizational and technological solutions for construction work with a trial design basis // Journal of critical reviews. — 2020. — Vol. 7, ISSUE8. — P. 3245–3259.
8. Nikolaev Y.N. Aspects of assessment of organizational and technical reliability and design of construction processes with target reliability level using computer-aided technologies // 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, 2016. — Article number 7911665.
9. Кабанов В.Н., Политов С.Г. Методические указания по использованию компьютерной системы «Технолог». Волгоград: изд-во ВолгАСУ, 2017. — 27 с.

© Николаев Юрий Николаевич (yuri-nikolaev@yandex.ru), Гущина Юлия Валерьевна (jgushina@mail.ru),
Алсаади Ахмед Шакир-Исса (ahmedalsaadi309@gmail.com), Аль Батхави Ахмед Али-Кадом (a.russia2014@gmail.com),

Четырев Константин Павлович.

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»