

10.10. СОВРЕМЕННЫЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ПРОГРАММ ВОСПРОИЗВОДСТВА ЖИЛИЩНОГО ФОНДА¹

Ларин С.Н., к.т.н., с.н.с.

Центральный экономико-математический институт Российской Академии наук

Современное состояние жилищного фонда и необходимость реформирования сферы жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) стимулировали активный поиск новых подходов к моделированию и оптимизации программ воспроизводства жилищного фонда. Анализ применявшихся для этого методов и моделей сетевого планирования и управления показал их несостоятельность в условиях рыночных преобразований. В качестве нового подхода предложено использовать математический инструментариий методологии эволюционных вычислений, который позволяет не только уйти от использования сетевых моделей, но и повышает чувствительность модели к ресурсным ограничениям. Кроме того, этот подход обеспечивает поиск не абсолютного оптимума, а более «оптимального» решения по сравнению с полученным ранее или заданным в качестве начального. В этой связи можно утверждать, что он в наибольшей степени соответствует современной практике рыночных трансформаций в сфере ЖКХ.

ВВЕДЕНИЕ

Жилье для человека – одно из главных приоритетов его существования, и в процессе развития общества роль государства в обеспечении населению качественных условий проживания возрастает. Российская Федерация как страна с высоким уровнем урбанизации (более 70% населения проживает в городах) имеет жилищный фонд и коммунальную инфраструктуру, по своему масштабу составляющие весомую долю в национальном богатстве. Стоимость основных фондов объектов коммунальной инфраструктуры жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) достигает 14% общей стоимости основных фондов страны. Сегодня жилищный фонд РФ составляет более 30% всего воспроизводимого недвижимого имущества страны и насчитывает более 19 млн. объектов общей площадью в 3,18 млрд. кв. м [13]. Однако его состояние не соответствует большинству современных технологических, экономических и других нормативов.

В течение многих лет сфера ЖКХ в нашей стране формировалась в условиях централизованного управления как сложная, многоотраслевая система, охватывающая более 30 различных видов деятельности. На сегодняшний день в ней функционирует более 5,2 тыс. организаций с общим числом занятых свыше 4,2 млн. чел. [13]. Среднегодовой объем производства сферы ЖКХ достигает 6% от валового внутреннего продукта (ВВП), а расходы на эту сферу в консолидированном бюджете РФ составляют около 8% от общей суммы бюджетных затрат.

Не смотря на то, что сфера ЖКХ является одним из самых больших и социально значимых секторов российской экономики, отношение к этой сфере всегда носило потребительский характер, ее финансирование осуществлялось по остаточному принципу, что влекло за собой накопление долгов как между предприятиями внутри сферы, так и между сферой ЖКХ и бюджетами всех уровней. Следствием этого стали: рост затрат на воспроизводство жилищного фонда и оказание услуг потребителям; высокая стоимость капитального строительства; длительные сроки окупаемости инфраструктурных инвестиционных проектов, непредсказуемость тарифной политики и непрозрачность финансовых потоков. Сегодня сфера ЖКХ остается одной из наименее разгосударственных отраслей экономики нашей страны.

Главная задача экономической реформы сферы ЖКХ заключается в постепенном переходе от бесплатного или почти бесплатного предоставления жилья и коммунальных услуг к их оплате всеми потребителями (в том числе и населением) с учетом качественных и других показателей. Основными направлениями реализации реформы являются:

- перевод сферы ЖКХ на рыночные отношения;
- привлечение частного бизнеса и частных инвестиций;
- стимулирование конкуренции и повышение качества коммунальных услуг;
- модернизация основных фондов и объектов коммунальной инфраструктуры.

В основу жилищной реформы легли меры, направленные на снижение издержек при производстве жилищно-коммунальных услуг за счет монополизации отрасли и создания в ней конкуренции, внедрения ресурсосберегающих технологий, разделения функций заказчика и подрядчика, расширения практики договорных взаимоотношений, поэтапный переход от бюджетного дотирования к полной оплате жилищно-коммунальных услуг потребителями.

Реформирование сферы ЖКХ в последние годы дало некоторые положительные результаты. Прежде всего, наметился поворот от административных методов к рыночным механизмам управления. Существенно изменилась структура собственности жилищного фонда - доля частного жилищного фонда составляет более 80% [13]. Продолжается процесс передачи муниципалитетам государственного и ведомственного жилищного фонда. Существенные изменения произошли и в форме участия бюджетов в жилищном строительстве. Частные компании и индивидуальные застройщики обеспечивают более половины ввода нового жилья.

Вместе с тем, практически не происходит привлечение частных подрядных организаций к управлению жилищным фондом и объектами коммунальной инфраструктуры, в сфере эксплуатации жилья также не удалось пока создать полноценный рынок жилищно-коммунальных услуг (ЖКУ), в связи с тем, что до сих пор четко не сформулированы привлекательные для бизнеса условия, прежде всего налоговые. Кроме этого, продолжает углубляться несоответствие между темпами роста цен на ЖКУ и уровнем доходов населения. Критически снизились капитальные затраты на содержание жилищного фонда и объектов коммунальной инфраструктуры, которые пока еще осуществляются за счет местных бюджетов.

Совокупное воздействие указанных и ряда других факторов предопределило необходимость формирования новых подходов к моделированию воспроизводства жилищного фонда и сделало актуальным поиск нового инструментариия для разработки программ воспроизводства жилищного фонда и их оптимизации.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЖИЛИЩНОГО ФОНДА

Жилищный фонд является системообразующим элементом сферы ЖКХ. Его нормальное воспроизводство осуществляется за счет строительства нового жилья и проведения модернизации, текущего или капитального ремонта существующего жилищного фонда. Современную динамику изменения количественных показателей существующего жилищного фонда в целом по стране отражают данные табл. 1 и 2 [13].

Анализируя приведенные в табл. 1 и 2 данные, можно сделать вывод о том, что на фоне незначительного увеличения общего объема жилищного фонда основными тенденциями последних лет стали существенный рост доли частного жилья и значительное сокращение доли жилья, находящегося в государственной и особенно муниципальной собственности. По состоянию на 1 января 2010 г. количество приватизированных жилых помещений превышает 2,5 млн. кв. м, что составляет 82,67% от всего жилищного фонда РФ.

Современный жилищный фонд как основной объект ЖКХ различен по своей структуре и техническому состоянию, формам собственности и качественным характеристикам, что отражают данные, приведенные в табл. 3-6 [13].

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда, проект №10-02-00244а «Разработка организационно-экономических механизмов воспроизводства жилищного фонда в условиях кризиса».

Таблица 1

ЖИЛИЩНЫЙ ФОНД РФ НА КОНЕЦ ГОДА – ВСЕГО

Млн. м²

Формы собственности	Годы									
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Жилищный фонд РФ, всего	2 786,6	2 821,7	2 852,8	2 884,5	2 917,2	2 955,7	3 003	3 060	3 116	3 176,6
Частный жилищный фонд	1 819	1 910	1 993	2 063	2 145	2 280	2 394	2 479	2 562	2 626
Жилищный фонд в собственности граждан	1 620	1 809	1 897	1 971	2 055	2 182	2 298	2 385,1	2 462	2 538
Государственный жилищный фонд	177	193	186	168	161	188	167	161,9	160	156
Муниципальный жилищный фонд	739	680	643	626	586	487	437	412,8	388	373
Общественный жилищный фонд	2	2	2	2	1	-	-	-	-	-
Жилищный фонд в смешанной форме собственности	50	37	29	26	24	-	-	-	-	-
Другие формы жилищного фонда	-	-	-	-	-	-	4	4,6	6	-

Таблица 2

СТРУКТУРА ЖИЛИЩНОГО ФОНДА ПО ФОРМАМ СОБСТВЕННОСТИ (НА КОНЕЦ ГОДА)

%

Формы собственности	Годы					
	2000	2005	2006	2007	2008	2009
Жилищный фонд, всего, в том числе:	100	100	100	100	100	100
• государственный	6,3	6,4	5,5	5,3	4,9	4,5
• муниципальный	26,5	16,5	14,6	13,5	12,5	11,0
• частный	65,3	77,1	79,8	81,1	82,4	84,3
• из него в собственности граждан	58,2	73,8	76,5	77,9	79,2	81,1
• другой	1,9	...	0,1	0,1	0,2	0,2

Таблица 3

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЖИЛИЩНОГО ФОНДА ПО ГОДАМ ПОСТРОЙКИ (НА КОНЕЦ 2009 г.)

Показатели распределения жилищного фонда	Даты				
	До 1920	1921-1945	1946-1970	1971-1995	После 1995
Число жилых домов (индивидуально-определенных зданий)	814 109	1 710 393	7 183 862	4 581 958	1 972 430
Число многоквартирных жилых домов	143 468	236 593	1 211 776	1 415 606	216 309
Общая площадь жилых помещений, тыс. кв. м	83 405,7	150 958,6	980 830,0	1 387 830,3	570 063,5

Таблица 4

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЖИЛИЩНОГО ФОНДА ПО ПРОЦЕНТУ ИЗНОСА (НА КОНЕЦ 2009 г.)

Показатели распределения жилищного фонда	Доля износа, %			
	От 0 до 30	От 31 до 65	От 66 до 70	Свыше 70
Число жилых домов (индивидуально-определенных зданий)	6 252 917	8 854 503	850 543	277 925
Число многоквартирных жилых домов	1 262 405	1 655 577	206 267	75 157
Общая площадь жилых помещений, тыс. кв. м	1 949 592,0	1 098 463,7	86 006,4	31 622,6

Из приведенных в табл. 3 и 4 данных видно, что в структуре жилищного фонда преобладают жилые дома постройки 1946-1970 и 1971-1995 гг., физический износ которых находится в пределах от 31% до 65%. Отталкиваясь от этих цифр можно с большой долей вероятности утверждать, что в ближайшие 5-10 лет значительно увеличится доля жилищного фонда с износом более 65%. Это обстоятельство повлечет за собой необходимость увеличения объемов модернизации, текущего и капитального ремонта существующего жилищного фонда для поддержания его нормальной эксплуатации.

Качественные характеристики существующего жилищного фонда отражают данные, приведенные в табл. 5 и 6.

Уровень благоустройства жилищного фонда отражают показатели его оборудования водопроводом и водоотведением, отоплением и горячим водоснабжением, ваннами (душем), газом и электроплитами. На основании данных табл. 5 можно сделать вывод о том, что уровень благоустройства городского жилищного фонда практически по всем показателям (за исключением обеспеченности газом) существенно опережает аналогичные характеристики сельского жилищного фонда.

Одновременно с ростом общего объема жилищного фонда происходит увеличение общей площади жилых помещений, приходящихся в среднем на одного жителя. При этом показатели обеспеченности в сельской местности превышают аналогичные показатели для городской местности (см. табл. 6 [13]). Другие показатели, отражающие жилищные условия населения свидетельствуют о том, что структура существующего жилищного фонда по числу квартир и их площади изменилась незначительно. Наибольший интерес представляет существенный рост капитально отремонтированного жилья в 2008-2009 гг., что объясняется созданием и эффективной деятельностью государственной корпорации Фонда содействия реформированию ЖКХ.

На долю многоквартирных домов в общей площади жилых помещений в целом по РФ приходится 2082 млн. кв. м (или 68,0% от общей площади жилых помещений). Такая структура не характерна для многих европейских стран и отражает философию решения жилищной проблемы методами индустриального домостроения в предыдущей экономической формации.

Таблица 5

УРОВЕНЬ БЛАГОУСТРОЙСТВА СУЩЕСТВУЮЩЕГО ЖИЛИЩНОГО ФОНДА (НА КОНЕЦ ГОДА)

%

По годам	Удельный вес общей площади, оборудованной						
	Водопродом	Водоотведением (канализацией)	Отоплением	Ваннами (душем)	Газом	Горячим водоснабжением	Напольными эл. плитам
Жилищный фонд – всего							
2005	76	71	80	65	70	63	17
2006	76	72	80	66	70	63	18
2007	76	72	81	66	70	64	18
2008	77	73	82	66	69	64	18
2009	77	73	83	66	69	65	19
Городской жилищный фонд							
2005	88	86	91	81	68	79	23
2006	88	86	91	81	68	79	23
2007	88	86	91	81	68	79	24
2008	89	87	91	81	67	80	24
2009	89	87	92	81	67	80	24
Сельский жилищный фонд							
2005	43	34	52	26	75	22	3
2006	44	34	54	26	75	22	3
2007	45	35	55	27	75	23	3
2008	46	37	57	27	74	24	3
2009	47	38	59	28	74	25	3

Таблица 6

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЖИЛИЩНЫХ УСЛОВИЙ НАСЕЛЕНИЯ

Показатели жилищных условий	Годы										
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	
Общая площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем на одного жителя (на конец года) – всего, кв. м. Из нее:	19,2	19,5	19,8	20,2	20,5	20,9	21,3	21,5	22,0	22,4	
• в городской местности	18,9	19,2	19,5	19,8	20,3	20,5	20,9	21,3	21,7	22,1	
• в сельской местности	19,9	20,3	20,7	21,0	21,1	21,8	22,3	22,3	22,7	23,1	
Число квартир – всего, млн. Из них:	55,1	55,6	56,0	56,4	56,9	57,4	58,0	58,6	59,0	59,5	
• однокомнатных	12,8	12,9	13,0	13,1	13,2	13,3	13,4	13,6	13,7	13,9	
• двухкомнатных	22,6	22,8	22,9	23,0	23,1	23,2	23,4	23,6	23,6	23,7	
• трехкомнатных	16,2	16,3	16,4	16,5	16,7	16,8	17,0	17,1	17,2	17,3	
• четырехкомнатных и более	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,1	4,2	4,3	4,5	4,6	
Средний размер одной квартиры, кв. м общей площади жилых помещений	49,1	49,3	49,6	49,9	50,1	50,4	50,8	51,3	51,8	52,4	
• однокомнатной	32,0	32,0	32,1	32,2	32,4	32,3	32,5	32,6	32,9	33,3	
• двухкомнатной	45,4	45,5	45,7	45,8	45,9	45,7	45,9	46,2	46,5	46,9	
• трехкомнатной	60,4	60,6	60,7	61,0	61,1	61,0	61,4	61,9	62,3	62,8	
• четырехкомнатной и более	82,6	84,2	86,2	87,5	88,9	91,8	93,2	95,5	97,5	100,0	
Удельный вес нуждающихся в жилье (на конец года), %	11	10	9	11	10	7	6	6	6	5	
Капитально отремонтировано жилых домов за год, тыс. кв. м общей площади	3 832	4 780	4 833	4 625	4 768	5 552	5 302	6 707	12 381	17 342	
Приватизировано жилых помещений (с начала приватизации, на конец года)											
Всего, тыс. кв. м	17 351	18 538	19 823	20 676	21 980	23 668	25 149	25 838	26 442	27 657	
Доля, %	47	50	54	56	59	63	66	69	70	73	

Основная особенность эксплуатации существующего жилищного фонда заключается в том, что с течением времени его технические характеристики и потребительские показатели объективно снижаются. Актуальной для повышения качества условий проживания является проблема изношенности жилищного фонда. На долю ветхого и аварийного жилищного фонда, официально признанного таковым, приходится 3,2% всего жилищного фонда РФ. Площадь ветхого и аварийного жилья в целом по стране составляет 93 млн. кв. м [13].

Сохранение жилищного фонда и его эффективное использование невозможно без своевременного проведения комплекса восстановительных мероприятий, к числу которых относится капитальный ремонт. Он проводится в многоквартирных жилых домах, техническое состояние которых делает экономически нецелесообразной их эффективную эксплуатацию путем технического обслуживания и текущего ремонта. Конечным результатом проведения капитального ремонта является восстановление и целесообразное улучшение эксплуатационных показателей жилищного фонда и обеспечение надежности его функционирования.

Опыт развитых стран показывает, что для поддержания нормального воспроизводства жилищного фонда ежегодный ввод жилья должен составлять 4,5% ÷ 5% от общей площади существующего жилищного фонда или не менее 1 кв. м на человека в год. Из них на обновление аварийного и изношенного фонда направляется не менее 15% ÷ 20% [9]. Прогноз развития жилищного фонда показывает, что достижение этих параметров в целом по РФ возможно лишь после 2015 г.

Опыт развитых стран показывает, что для поддержания нормального воспроизводства жилищного фонда ежегодный ввод жилья должен составлять 4,5% ÷ 5% от общей площади существующего жилищного фонда или не менее 1 кв. м на человека в год. Из них на обновление аварийного и изношенного фонда направляется не менее 15% ÷ 20% [9]. Прогноз развития жилищного фонда показывает, что достижение этих параметров в целом по РФ возможно лишь после 2015 г.

при условии существенного повышения государственной поддержки индивидуального строительства.

В настоящее время годовой объем ввода жилья не превышает в РФ 2,0% от общей площади жилищного фонда, а по регионам РФ этот показатель варьируется в пределах от 0,3% до 3%. Целевым индикатором реализации Национального проекта было предусмотрено к 2010 г. довести объем ввода жилья в среднем по РФ до 2,5% [13]. Однако последствия финансового и экономического кризиса 2008 года не позволили достигнуть этого значения показателя.

Сегодня более 80% жилищного фонда РФ находится в частной собственности. И собственники жилья, если руководствоваться Жилищным кодексом РФ, должны оплачивать капитальный ремонт дома. Однако затраты собственников при этом оказываются весьма значительными, поскольку в цене растут и стройматериалы, и стоимость работ. По оценкам специалистов, ежегодная стоимость проведения необходимых работ по капитальному ремонту жилищного фонда составляет порядка 2 трлн. руб. [8]. Очевидно, что без государственной поддержки собственники жилья не смогут решить эту проблему.

Реальная возможность изменить сложившуюся ситуацию появилась с принятием Федерального закона «О Фонде содействия реформированию жилищно-коммунального хозяйства», в соответствии с которым для повышения эффективности реформы сферы ЖКХ и обеспечения целевого использования муниципальными образованияами средств, выделяемых из бюджета на капитальный ремонт жилищного фонда, был образован Фонд содействия реформированию ЖКХ. Создание Фонда стало стимулом для органов местного самоуправления отказаться от практики прямого вложения бюджетных средств в проведение капитального ремонта многоквартирных жилых домов и перейти на новый механизм использования бюджетных средств – предоставление субсидий. В соответствии с Жилищным и Бюджетным кодексами РФ этот механизм предполагает софинансирование программ капитального ремонта из средств Фонда, региональных и местных бюджетов, а также привлечение средств собственников жилья. Подход к формированию программ воспроизводства жилищного фонда посредством проведения капитального ремонта, основанный на предоставлении субсидий, требует от органов местного самоуправления в рамках установленных правил оказывать помощь тем собственникам жилья, которые готовы вложить свои средства в проведение его капитального ремонта.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ И ПОДХОДОВ К ФОРМИРОВАНИЮ ПРОГРАММ ВОСПРОИЗВОДСТВА ЖИЛИЩНОГО ФОНДА

Сложность задачи формирования программ воспроизводства жилищного фонда посредством проведения его капитального ремонта заключается в необходимости одновременного оперирования большим количеством параметров, имеющих разную природу и различную размерность. Среди таких параметров в первую очередь необходимо отметить следующие:

- приоритетность включения объектов в программу;
- наличие разного рода ресурсов;
- интенсивность выполнения ремонтных работ;

- взаимосвязь и возможности совмещения выполнения ремонтных работ;
- организация взаимодействия различных подрядных организаций на отдельном объекте и в ходе выполнения программы капитального ремонта в целом и ряд других.

Изменение любого из указанных показателей может оказать существенное влияние не только на продолжительность и сроки выполнения ремонтных работ, формирование и реализацию графиков потребления ресурсов, но и на финансовое состояние подрядных организаций, занятых выполнением определенных видов работ на конкретных объектах, включенных в муниципальную программу воспроизводства жилищного фонда.

В качестве математического инструментария для решения сложных оптимизационных задач и получения точных решений в рамках процесса планирования ремонтных работ обычно применяется методология сетевого планирования и управления (СПУ), которая достаточно хорошо развита и имеет в своем арсенале мощный экономико-математический аппарат. Однако с развитием рыночных отношений при использовании методов и моделей СПУ в условиях неопределенности различных факторов внешней и внутренней среды в сфере ЖКХ стали возникать некоторые проблемы. Рассмотрим их на примере детерминированных и вероятностных моделей и попытаемся выявить перспективы их применения в новых условиях.

Детерминированные модели СПУ предполагают высокую точность проведения всех расчетов и определения результирующих показателей. Они широко распространены как в зарубежной, так и в отечественной практике, и позволяют учитывать использование разного рода ресурсов во времени, а так же ряд других ограничений (временные модели) при выполнении оптимизационных расчетов. Кроме того, хорошо известны детерминированные модели СПУ, обеспечивавшие значительное сокращение расходов на реализацию проекта за счет временной и стоимостной оптимизации (стоимостные модели). Наиболее широко детерминированные модели СПУ применялись в условиях административного управления экономикой [12].

С переходом к рыночным методам хозяйствования появилась необходимость учитывать факторы многочисленных рисков, свойственных рыночной экономике. В этой связи в моделях СПУ стали учитываться не только временные и стоимостные параметры проекта, но также и технические, экономические, информационные и иные показатели, которые рассматривались в качестве ограничений конкретной модели в зависимости от постановки задачи. При учете одновременного влияния многих факторов, таких как действия конкурентов, спрос, предложение и т.п. применение детерминированных моделей СПУ уже не позволяло получать удовлетворительный результат. Более актуальными и востребованными стали вероятностные модели СПУ, которые более адекватно отражают реальные процессы планирования и управления [7].

Применение вероятностных моделей СПУ позволяет уменьшить риск при выборе эффективных решений. Однако для получения удовлетворительных результатов с использованием этих моделей необходимо заранее (до начала выполнения расчетов) определить целый ряд вероятностных характеристик, описывающих поведение изучаемых процессов и объектов. В рыночных условиях хозяйствования ощущается недостаток статистической информации о действиях хозяйствую-

щих субъектов. Во многих случаях указанная информация имеется только за короткие отрезки времени (например, за один, два года). Кроме того, статистические данные характеризуются недостаточной надежностью и достоверностью [2]. Существенные ограничения и трудности в выявлении законов распределения и параметров этих законов в условиях постоянно изменяющейся внешней конкурентной среды является главным недостатком применения этих моделей.

Следующим классом моделей СПУ являются задачи с полной неопределенностью, обусловленной отсутствием информации о вероятностных характеристиках анализируемых объектов [10]. В условиях внешней конкурентной среды возникает необходимость учитывать неуправляемые факторы, принимать решения в условиях полной неопределенности, выявлять параметры систем, характеристики которых являются неизвестными. Примером такой задачи может быть ситуация, когда в модели СПУ имеется множество контролируемых (управляемых) факторов:

$$X = \{X_i\}, i = 1, 2, 3, \dots, n,$$

наряду с которыми в модели СПУ необходимо учитывать совокупность неконтролируемых (неуправляемых) факторов:

$$Y = \{Y_j\}, j = 1, 2, 3, \dots, n.$$

Эффективность допустимых решений, получаемых при использовании для решения этой задачи модели СПУ, задается с помощью показателя E , который зависит от X и Y , т.е.:

$$E = E(X, Y).$$

Для более детального представления возможностей и недостатков моделей СПУ рассмотрим различные ситуации их применения для решения разного рода задач на основе теории эффективности принимаемых решений.

При использовании временных моделей СПУ рассчитывается критический путь:

$$T_{кр.} = \max_{T_i \in T} \{T_i\},$$

который определяет максимально возможный срок реализации того или иного проекта или программы. При этом рассчитываются следующие параметры временных моделей СПУ:

- резервы времени продолжительности работ;
- резервы времени продолжительности путей;
- резервы времени свершения событий [12].

При использовании стоимостных моделей СПУ в качестве критерия эффективности выступает показатель минимума инвестиций (капитальных вложений). При этом возможны несколько ситуаций, определяющих исходные условия решения задачи:

- известны инвестиции необходимые для выполнения каждой из работ;
- известны инвестиции, которые потребуются для выполнения совокупности работ, лежащих на каждом из путей;
- известны инвестиции, необходимые для выполнения работ, принадлежащих разным путям [1].

В первой ситуации определяются зависимости $J(x_{ij})$, где x_{ij} – работа, связывающая события i и j .

Суммарные инвестиции, необходимые для выполнения работ принадлежащих пути X_i находятся путем суммирования инвестиций по отдельным работам, т.е.:

$$J_x(X_i) = \sum_{i,j} J(x_{ij}), i = \overline{1, n} \text{ u } j = \overline{1, m},$$

где i, j – номера событий, принадлежащих пути X_i . Критический путь представляет собой максимальный размер инвестиций из всех сравниваемых путей, т.е.:

$$J_{x_{кр.}} = \max_{X_i \in X} \{J_x(X_i)\}.$$

Резерв i -го пути находится из выражения:

$$R(X_i) = J_{x_{кр.}} - J(X_i).$$

Во второй ситуации неизвестны инвестиции, относящиеся к каждой из работ, но известными являются инвестиции, относящиеся к каждому из путей. В данной ситуации совокупности путей сетевой модели $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ соответствуют совокупности инвестиции $J_1, J_2, J_3, \dots, J_n$. Располагая набором инвестиций, относящимся к разным путям $J = \{J_i(x_i)\}$, определяется критический путь $J_{кр.} = \max_{x_i \in X} \{J_i(x_i)\}$ и другие параметры сетевой модели.

В третьей ситуации не удается определить инвестиции, относящиеся к каждому из путей. Однако при этом могут быть известны инвестиции, необходимые для выполнения совокупности работ, принадлежащих к разным путям. В данном случае появляется возможность оптимизации сетевой модели путем перераспределения инвестиций между работами, лежащими на различных путях.

При использовании затратных моделей СПУ обозначим текущие затраты, относящиеся к работе x_{ij} через $Z(x_{ij})$. Как и в предыдущем случае при решении такого рода задач возможны следующие ситуации:

- имеется возможность определения текущих затрат $Z(x_{ij})$ для всех работ сетевой модели;
- имеется возможность определения текущих затрат, относящихся к каждому из путей сетевой модели;
- возможно определить текущие затраты $Z(x_{ij})$ только для работ, принадлежащих к разным путям модели [5].

В первом случае определяются суммарные затраты, относящиеся к каждому из путей сетевой модели:

$$Z_x(x_i) = \sum_{i,j} Z(x_{ij}), i = \overline{1, n} \text{ u } j = \overline{1, m}.$$

Критический путь для этой сетевой модели определяется по формуле:

$$Z_{кр.} = \max_{x_i \in X} \{Z_x(x_i)\}.$$

Резерв пути с номером x_i находится из выражения:

$$R(x_i) = Z_{кр.} - Z_x(x_i).$$

Во втором случае набору путей $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ соответствует набор текущих затрат $Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n$. Располагая набором текущих затрат, относящихся к различным путям сетевой модели, т.е. $Z = \{Z_i\}, i = \overline{1, n}$, находится путь, имеющий максимальные текущие затраты. Этот путь является критическим и определяется следующим образом $Z_{кр.} = \max_{3, \epsilon Z} \{Z_i\}$.

В третьем случае не удается определить текущие затраты, относящиеся к работам каждого из путей. При этом имеется возможность определения работ, принадлежащих к различным путям. В данном случае осуществляется оптимизация параметров сетевой модели путем перераспределения текущих затрат работ, принадлежащих к различным путям сетевой модели.

При использовании моделей СПУ для определения полезных результатов PR обозначим полезный результат работы x_{ij} , через $PR(x_{ij})$. Здесь можно рассмотреть следующие ситуации:

- известны все полезные результаты каждой из работ, принадлежащих каждому из путей;
- известны полезные результаты каждого из путей сетевой модели;
- известны полезные результаты работ, принадлежащих к разным путям [5].

В первом случае определяется полезный результат каждого из путей, т.е.:

$$PR_{\Sigma}(x_i) = \sum_{i,j} PR(x_{ij}), \quad i = \overline{1, n} \text{ и } j = \overline{1, m}.$$

Критический путь определяется как минимальный из полезных результатов отдельных путей, т.е.:

$$R_{кр.} = \min_{x_i \in X} \{R_{\Sigma}(x_i)\}.$$

Резерв пути с номером i находится из выражения:

$$R(x_i) = R_{кр.} - R_{\Sigma}(x_i).$$

Во втором случае набору путей $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ соответствует набор полезных результатов $PR_1, PR_2, PR_3, \dots, PR_n$. Путем сравнения расчетных значений определяется минимальное и максимальное значение полезных результатов.

В третьем случае путем введения вектора управления с целью оптимизации сетевой модели осуществляется перераспределение полезных результатов, относящихся к работам, принадлежащих к разным путям.

Обобщением рассмотренных выше моделей СПУ является модель определения эффективности принимаемых решений. Она используется для решения задач, в которых требуется сформировать показатель эффективности E , базирующийся на показателях инвестиций J , текущих затрат Z и полезного результата PR . Естественно, что эффективность принимаемых решений будет зависеть от J, Z и PR , т.е. [15]:

$$E = E(J, Z, PR).$$

Рассмотрим следующие ситуации:

- каждой работе можно поставить в соответствие эффективность $E(J, Z, PR)$;
- эффективность принимаемых решений определяется только применительно к отдельным путям (но не работам);
- эффективность принимаемых решений удается определить только применительно к совокупности работ, относящихся к разным путям.

В первом случае эффективность каждого отдельного пути будет определяться путем суммирования эффективности работ, принадлежащих этим путям, т.е.:

$$E_{\Sigma}(x_i) = \sum_{i,j} E(x_{ij}), \quad i = \overline{1, n} \text{ и } j = \overline{1, m}.$$

Во втором случае определяются эффективности каждого из путей, $E(x_1), E(x_2), E(x_3), \dots, E(x_n)$ и производится сравнение этих эффективностей с целью определения критического пути. Критический путь определяется в виде минимального показателя эффективности, т.е.:

$$E_{кр.} = \min_{x_i \in X} \{E(x_i)\}.$$

Резерв i -го пути находится из выражения:

$$R(x_i) = E_{кр.} - E(x_i), \quad i = \overline{1, n}.$$

В третьей ситуации определяется эффективность совокупности работ, принадлежащих к разным путям.

Обычно для расчета вероятностных моделей СПУ используют три основных группы методов: аналитические методы, метод Монте-Карло и методы усреднения [14]. Случайный характер структуры формируемой программы воспроизводства жилищного фонда может быть задан матрицей $P = (P_{ij})$ вероятностей появления в результирующем графе связи работ с параметрами (i, j) . Вероятностный характер временных характеристик определяется случайными длительностями работ $t(i, j)$, которые представляют собой случайные величины, возможно связанные корреляционной зависимостью, поскольку увеличение или уменьшение длительности одной или нескольких предшествующих работ может случайно повлиять на временные параметры последующих.

При расчете вероятностных моделей СПУ обычно решаются следующие задачи:

- определить функцию распределения вероятности наступления события $j - f(t)$;
- определить вероятность того, что событие наступит ранее момента времени $T - P(T) \leq T$;
- определить функцию распределения критического пути $T_{кр} - f(T_{кр})$;
- определить среднее значение длительности критического пути - $T_{кр}^{cp}$;
- определить максимальное и минимальное значения длительности критического пути - $T_{крmin}$ и $T_{крmax}$;
- определить вероятность выполнения комплекса работ за плановое время $T_{пл} - P(T_{кр} \leq T_{пл})$ [6].

Исходными данными для таких расчетов являются закономерности распределения длительности отдельных работ в сети.

Статистическими исследованиями было установлено, что длительность $t(i, j)$ для большинства известных типов работ хорошо описывается β -распределением:

$$f(t_{ij}) = \begin{cases} C(t-t_{min})^{\alpha}(t_{max}-t)^{\gamma} \text{ при } t_{min} \leq t \leq t_{max}; \\ 0 \text{ в иных случаях.} \end{cases}$$

Здесь $C, t_{min}, t_{max}, \alpha, \gamma$ - константы, причем C определяется из условия нормирования:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(t) dt = 1$$

Константы α и γ зависят от характера выполняемых работ.

Итак, если известны законы распределения $t(i, j), t_{min(ij)}, t_{max(ij)}, C_{ij}, \alpha_i, \gamma_{ij}$, то вполне можно решить поставленные выше задачи с использованием аналитических методов, метода Монте-Карло и методов усреднения.

При использовании аналитических методов на основании заданной структуры сетевой модели и распределений вероятностей $f(t_{ij})$ вычисляются распределения времени наступления каждого из событий (j) $t_p(j)$ или $t_n(j)$. Рассмотрим два простейших фрагмента сетевой модели, которые отображают параллельное и последовательное выполнение двух работ с распределениями длительностей $f(t_1) = f_1(t)$ и $f(t_2) = f_2(t)$ соответственно. Необходимо определить распределение итоговой длительности $f(t)$.

В первом случае $t = \max\{t_1, t_2\}$, во втором - $t = t_1 + t_2$.

Рассмотрим второй случай. Вероятность того, что $t_1 = \tau$, а $t_2 = t - \tau$ (а в итоге $t = t_1 + t_2$) есть $f_1(\tau) * f_2(t - \tau) d\tau$. Интегрируя по всем допустимым значениям τ , получаем:

$$f(t) = \int_{-\infty}^t f_1(\tau) f_2(t - \tau) d\tau$$

Очевидно, что даже для такого простого случая вычисление результирующего распределения представляет проблему. Явные трудности вычисления соответствующих распределений в общем случае с последовательно-параллельным соединением работ в сложной сети приводят к тому, что данный метод представляет собой сугубо теоретический интерес.

Метод Монте-Карло или метод статистических испытаний представляет собой классический образец имитационного моделирования сложных систем с использованием ЭВМ [9]. Процесс выглядит примерно так:

- с помощью датчика случайных чисел генерируется множество $\{t(i,j)\}_1$ как некая совокупность длительностей работ.
- затем получившаяся сеть рассчитывается как детерминированная (определяются все временные параметры) и вычисляется соответствующее значение (реализация) T_{KP} (T_{KP1}) (существенно то, что при этом могут быть учтены сколь угодно точные подробности процесса – статистическая зависимость длительностей работ, случайный характер структуры и пр.);
- далее генерируется совокупность $\{t(i,j)\}_2$, на основе которой определяется T_{KP2} и т. д.

Поскольку точность метода Монте-Карло пропорциональна \sqrt{N} (где N – число испытаний), то обычно процесс повторяется $N \approx 10^4 \div 10^6$ раз. В итоге получается ряд значений:

$$T_{KPn} = (T_{KP1}, T_{KP2}, \dots, T_{KPn}).$$

Этот результат можно представить в виде гистограммы, при помощи которой легко определить соответствующую функцию распределения $\bar{f}(T_{KP})$. На основании полученной функции можно оценить вероятность того, что $T_{KP} \leq T_{пл}$.

Аналогично можно определить среднюю продолжительность критического пути:

$$\bar{T}_{KP} \approx M[T_{KP}] = \frac{\sum_{n=1}^N T_{KPn}}{N}.$$

Можно определить и интервал наблюдаемых значений T_{KP} :

$$T_{KPmin} \leq T_{KP} \leq T_{KPmax} \text{ и т.д.}$$

В случае использования методов усреднения распределения временных параметров событий и работ заменяются их средними значениями так, чтобы можно было приблизительно оценить необходимые характеристики (обычно это $f(T_{KP})$, \bar{T}_{KP} , T_{KPmin} , T_{KPmax} , $P(T_{KP} \leq T_{пл})$). Из группы методов усреднения наибольшее распространение получил PERT (Program Evaluation & Review Technics), который представляет собой технологию обзора и оценки планов (программ) [9].

Практическое использование этого метода основано на ряде упрощающих предположений по сравнению с общей постановкой задачи расчета вероятностных сетей:

1. Времена работ $t(i,j)$ подчиняются β -распределениям, в которых параметры α_{ij} и γ_{ij} равны для всех работ, причем $\alpha_{ij} = \alpha = 1$, $\gamma_{ij} = \gamma = 2$. Тогда функция распределения длительности работы (i,j) принимает вид:

$$f(t_{ij}) = C_{ij} * [t(i,j) - t_{min}(i,j)] * [t_{max}(i,j) - t(i,j)]^2,$$

где

$$C_{ij} = \frac{12}{[t_{max}(i,j) - t_{min}(i,j)]^4}$$

Для таких распределений в качестве приближенных значений для моментов могут быть приняты следующие оценки:

- математическое ожидание:

$$\bar{t}(i,j) = t_{ож}(i,j) \approx \frac{3t_{min}(i,j) + 2t_{max}(i,j)}{5};$$
- дисперсия:

$$\sigma^2 [t(i,j)] = \sigma_{ij}^2 \approx \frac{[t_{max}(i,j) - t_{min}(i,j)]^2}{25}$$

Значения t_{max} и t_{min} определяются из статистики или путем опроса специалистов с использованием методов экспертных оценок.

2. Статистическая независимость длительностей работ.
3. Длительность критического пути настолько превосходит (в среднем) длительности прочих полных путей, что практически невозможен его случайный «перескок» на другие пути.

Применение метода PERT наиболее целесообразно при больших размерностях сетей (крупных и средних), а также когда сеть имеет «вытянутый характер». Порядок расчета сетевой модели с использованием метода PERT заключается в следующем. После того, как осуществлена нумерация вершин и собраны данные ($t_{max}(i,j)$ и $t_{min}(i,j)$) по всем работам, проводятся расчеты.

- 1) моментов распределения длительностей работ $t_{ож}(i,j)$, σ_{ij}^2 ;

2) на основании совокупности значений $t(i,j) = t_{ож}(i,j)$ проводится обычный расчет характеристик, как для детерминированной сетевой модели;

3) Значений критического пути T_{KP} и его средней длительности:

$$\bar{T}_{KP} = \sum_{(i,j) \in T_{KP}} t_{ож}(i,j) = M[T_{KP}];$$

4) дисперсии длительности T_{KP} как суммы дисперсий длительностей критических работ (предположение о независимости работ):

$$\sigma^2 [T_{KP}] = \sigma_{KP}^2 = \sum_{(i,j) \in T_{KP}} \sigma^2 [t(i,j)];$$

5) поскольку длительности $t(i,j)$ - независимые случайные величины, их сумма T_{KP} может трактоваться как случайная величина, распределенная по нормальному закону $N(\bar{T}_{KP}, \sigma_{KP})$ с математическим ожиданием \bar{T}_{KP} и дисперсией σ_{KP}^2 , для которого функция плотности вероятности имеет вид:

$$f(T_{KP}) = \frac{1}{\sigma_{KP} \sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(T_{KP} - \bar{T}_{KP})^2}{2\sigma_{KP}^2}};$$

6) поскольку из свойств нормального распределения следует (правило трех сигм), что с вероятностью 0,9974 значение T_{KP} будет находиться в интервале $[\bar{T}_{KP} + 3\sigma_{KP}, \bar{T}_{KP} - 3\sigma_{KP}]$ можно утверждать, что:

$$T_{KPmin} = \bar{T}_{KP} - 3\sigma_{KP};$$

$$T_{KPmax} = \bar{T}_{KP} + 3\sigma_{KP};$$

7) для некоторого определенного планового срока выполнения всего проекта - $T_{пл}$ рассчитывается вероятность $P(T_{KP} \leq T_{пл})$ выполнения работы в срок, которая определяется следующим образом:

$$P(T_{KP} \leq T_{ПЛ}) = \int_{-\infty}^{T_{ПЛ}} \frac{1}{\sigma_{KP} \sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(T_{KP}-\bar{T}_{KP})^2}{2\sigma_{KP}^2}} dT_{KP}. \quad (1)$$

Исходя из симметрии нормального закона (из симметрии $N(M, \sqrt{\sigma^2})$), можно также записать:

$$P(T_{KP} \leq T_{ПЛ}) = 0,5 + \int_{\bar{T}_{KP}}^{T_{ПЛ}} \frac{1}{\sigma_{KP} \sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(T_{KP}-\bar{T}_{KP})^2}{2\sigma_{KP}^2}} dT_{KP}. \quad (2)$$

Для получения конкретных значений выражений (1) или (2), необходимо перейти от $N(\bar{T}_{KP}, \sigma_{KP})$ к стандартному табулированному распределению $N(0, 1)$ (математическое ожидание – ноль, дисперсия – единица). С этой целью осуществляется замена переменной:

$$y = (T_{KP} - \bar{T}_{KP}) / \sigma_{KP},$$

что приводит к изменению подынтегральной функции и пределов интегрирования:

$$T_{KP} = -\infty, y = -\infty;$$

$$T_{KP} = T_{ПЛ}, y = (T_{ПЛ} - \bar{T}_{KP}) / \sigma_{KP};$$

$$T_{KP} = \bar{T}_{KP}, y = 0;$$

$$d T_{KP} = \sigma_{KP} dy.$$

Тогда выражения (1) и (2) принимают вид:

$$P(T_{KP} \leq T_{ПЛ}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{y^2}{2}} dy = 0,5 + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{y^2}{2}} dy.$$

Здесь $x = (T_{ПЛ} - \bar{T}_{KP}) / \sigma_{KP}$.

Иначе говоря, $P(T_{KP} \leq T_{ПЛ}) = \Phi(x) = 0,5 + \Phi_0(x)$.

При этом функции $\Phi(x)$ и $\Phi_0(x)$ табулированы. Они называются функциями Лапласа.

Таким образом на основании значений $T_{ПЛ}, \bar{T}_{KP}, \sigma_{KP}$ могут быть определены x и $\Phi(x) = P(T_{KP} \leq T_{ПЛ})$.

Обобщая практические особенности применения метода PERT, сделаем следующие замечания:

- значения \bar{T}_{KP} , определенные по данному методу, оказываются слегка заниженным (на 15 ÷ 20%) (более оптимистичны);
- значение σ_{KP}^2 слегка завышено (обычно), хотя может быть и занижено;
- эффект отклонения \bar{T}_{KP} и σ_{KP}^2 от реальности возрастает с увеличением количества параллельных путей в сети;
- эффект отклонения обычно снижается при увеличении размерности сети.

Для величины $P(T_{KP} \leq T_{ПЛ})$ установлены предельные значения (границы допустимого риска). Из практики известно, что если $P > 0,65$, то проект спланирован с излишним запасом и можно увеличить $T_{ПЛ}$, если $P < 0,35$, то проект находится под угрозой срыва.

Обобщая рассмотренные выше возможности применения методов и моделей СПУ для формирования программ воспроизводства жилищного фонда можно сделать вывод о том, что они основывались на поточных методах выполнения работ и позволяли рассчитывать планы проведения работ по каждому типу объектов. Однако практическое применение сетевых моделей в условиях рыночной экономики стало затруднительным в силу того, что они предъявляют завышенные требования к точности расчетов. Следствием этого является необходимость обработки значительных объемов ин-

формации, большая часть которой, в конечном счете, оказывается избыточной. Существенные ограничения в расчетах накладывает необходимость учета различных источников финансирования и варьирования его объемов по срокам поступления. В результате затраты времени и усилий на разработку точных планов перестали себя оправдывать, поскольку на практике только что разработанный план через короткий промежуток времени нуждался в проведении разного рода корректировок и новом перерасчете.

НОВЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ И ОПТИМИЗАЦИИ ПРОГРАММ ВОСПРОИЗВОДСТВА ЖИЛИЩНОГО ФОНДА

Для устранения отмеченных недостатков предлагается новый подход, который позволяет получить эффективные результаты как с позиций затрачиваемого времени, так и с точки зрения оптимизации ресурсного, прежде всего финансового, обеспечения. В его основе лежит распределение работ между объектами программы не по времени, а по объемам, что более точно отражает зависимость между смежными работами и не требует предварительных расчетов их продолжительности. Для реализации выделенного объема финансовых ресурсов и нахождения оптимального варианта проведения работ используется математический аппарат методологии эволюционных вычислений, который обеспечивает эффективный поиск «оптимального» решения для сложной системы с учетом всей совокупности ограничений. Такой подход повышает чувствительность модели к ресурсным ограничениям и устраняет необходимость использования сетевых моделей.

Сегодня основной целью при решении большинства сложных задач является поиск не абсолютного оптимума, а более оптимального решения по сравнению с полученным ранее или заданным в качестве начального. В решении такого рода задач определенное преимущество перед другими получают методы, использующие элемент случайности. Но и с такими допущениями непосредственный случайный поиск является малоэффективным. Практика показывает, что значительное улучшение показателей дает внесение в эти методы элементов детерминированности [11, 16].

Детерминированность генетических алгоритмов как основного математического аппарата методологии эволюционных вычислений заключается в моделировании природных процессов отбора, размножения и наследования, происходящих по строго определенным правилам. Основным правилом при этом является закон эволюции: выживает наиболее приспособленный, который обеспечивает улучшение находимого решения. Другим важным фактором эффективности эволюционных вычислений является моделирование размножения и наследования. Как и другие методы, использующие элемент случайности, генетические алгоритмы не гарантируют обнаружения глобального экстремума целевой функции (или оптимального решения) за определенное время. Основное их преимущество в том, что они позволяют найти более хорошие решения очень трудных задач за меньшее время, чем другие методы. С их помощью можно достаточно быстро найти любые альтернативы решения в виде строки параметров (например, битовой строки фиксированной длины), манипуляции с

которой производятся без увязки с ее смысловой интерпретацией. Тем самым обеспечивается универсальное представление любой задачи.

Каждый код алгоритма представляет, по сути, точку пространства поиска. На каждом шаге работы генетический алгоритм использует несколько точек поиска параллельно. Совокупность этих точек является набором особей, который называется популяцией. Формирование исходной популяции (плана ремонтных работ) происходит, как правило, с использованием какого-либо случайного закона, на основе которого выбирается нужное количество точек поискового пространства. При этом исходная популяция может быть результатом работы какого-либо другого алгоритма оптимизации.

В процессе работы генетического алгоритма многократно применяются операторы отбора, скрещивания, мутации и редукции. Поскольку операторы по своей сути направлены на улучшение каждой отдельной особи (работы), то под их воздействием происходит постепенное улучшение популяции (плана работ) в целом [3]. Это обстоятельство является одним из важнейших преимуществ, определивших выбор генетических алгоритмов в качестве методологической основы решения рассматриваемой нами задачи.

Основным ограничением при формировании программ воспроизводства жилищного фонда является объем финансирования. Этот показатель определяется как суммарная величина инвестиций собственников жилья, а так же средств бюджетов всех уровней (федерального, регионального, местного), значения которых обычно рассчитываются как некие лимиты. Поэтому необходимо определить такую последовательность реализации программы воспроизводства жилищного фонда, чтобы за один период финансирования (календарный год) выполнить максимальный объем работ пропорциональный общей сумме финансирования. Не выполнение этого условия приведет, с одной стороны, к неполному использованию средств бюджетов разного уровня и других источников финансирования, а с другой – к снижению ожидаемого социального эффекта от реализации программы.

Для учета конструктивных особенностей включенных в программу воспроизводства жилищного фонда объектов, сгруппируем все множество многоквартирных жилых домов (МКД) в m типов и обозначим номер типа индексом i . Каждый тип здания характеризуется определенным набором конструктивных элементов. Номер конструктивного элемента обозначим через j . Общее количество конструктивных элементов у здания категории i обозначим через n_i . Приняв, что формирование программы воспроизводства жилищного фонда ведется на временном периоде длительностью T , обозначим за y_{kijt} вид работ по капитальному ремонту j -го конструктивного элемента k -го здания, относящегося к

категории i , в момент времени t ; $k = 1, \dots, K$, $i = 1, \dots, m$, $j = 1, \dots, n_i$, $t = 0, \dots, T-1$.

Исходными данными для решения задачи служат ряды последовательных оценок для всех видов ремонтных работ по всем конструктивным элементам $y_{kijt}(t)$, полученные в результате обследования жилищного фонда: ожидаемая продолжительность ремонтных работ $\tau_{ij}(y)$, объем финансовых затрат $c_{ij}(y)$, расчетный экономический эффект $e_{ij}(y)$, где j – тип конструктивного элемента, i – тип здания (табл. 7).

Задача решается в дискретном времени. Номер отрезка времени обозначим индексом $t = 0, \dots, T$, где T – длительность планового периода.

Для обеспечения объектной и временной привязок ремонтных работ представим перспективный план в виде множества временных диаграмм (рис. 1). Одна временная диаграмма соответствует одному конструктивному элементу (виду работ). Диаграммы разбиты на T отрезков, соответствующих моментам времени $t = 0, \dots, T$, в качестве которых могут выступать неделя, декада, месяц, квартал.

Каждой ячейке временной диаграммы ставится в соответствие булева величина x_{kijt} , принимающая значение единицы, если запланирован ремонт j -го конструктивного элемента k -го здания i -й категории, в момент времени t и ноль – в остальных случаях. Совокупность переменных x_{kijt} определяет план работ. Таким образом, экономический эффект и затраты при выполнении ремонтной работы j -го элемента k -го здания i -й категории в момент времени t определяются произведениями $x_{kijt} * e_{kijt}$ и $x_{kijt} * c_{kijt}$ соответственно.

Экономический эффект S используется в качестве целевой функции:

$$S = \sum_{t=0}^{T-1} \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{n_i} x_{kijt} (e_{kijt} - c_{kijt}) \rightarrow \max . \tag{3}$$

Ограничение на объем финансовых ресурсов запишем в виде:

$$\sum_{t=0}^{T-1} \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{n_i} x_{kijt} c_{kijt} \leq C , \tag{4}$$

где C – максимальный (установленный) объем финансирования.

Для записи требования безаварийного состояния зададим константы, определяющие предельно допустимое значение физического износа: \hat{y}_{ij} , $i = 1, \dots, m$, $j = 1, \dots, n_i$. Если фактическое значение физического износа отдельного конструктивного элемента оказывается меньше этой величины, то он может быть включен в программу.

Таблица 7

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ЗДАНИЯ i -Й КАТЕГОРИИ

Коэф. физ. износа	Конструктивные элементы МКД		
	Фундаменты ($j = 1$)	Стены ($j = 2$)	Электроборудование ($j = n_i$)
0,1	$\tau_{i1}(0,1) ; e_{i1}(0,1) ; c_{i1}(0,1)$	$\tau_{i2}(0,1) ; e_{i2}(0,1) ; c_{i2}(0,1)$	$\tau_{in_i}(0,1) ; e_{in_i}(0,1) ; c_{in_i}(0,1)$
...
0,9	$\tau_{i1}(0,9) ; e_{i1}(0,9) ; c_{i1}(0,9)$	$\tau_{i2}(0,9) ; e_{i2}(0,9) ; c_{i2}(0,9)$	$\tau_{in_i}(0,9) ; e_{in_i}(0,9) ; c_{in_i}(0,9)$

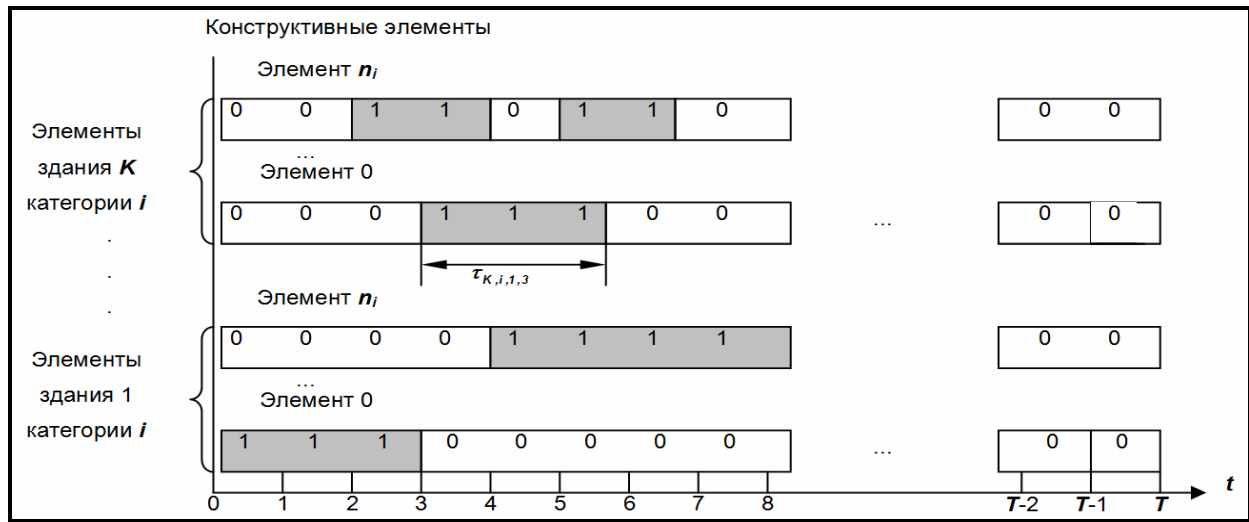


Рис. 1. Временные диаграммы ремонтных работ

В результате ремонта значение физического износа уменьшается до величины, определяемой функцией неустранимого износа $d_{ij}(y_{kijt})$. Измененный в результате ремонта физический износ обозначим \tilde{y}_{kijt} , тогда условие безаварийности записывается в виде:

$$\tilde{y}_{kijt} \leq \hat{y}_{ij}, \quad \forall k, j, t. \quad (5)$$

Ограничение на количество одновременно проводимых работ представим в виде:

$$\max_{\forall t} \left(\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{n_i} w_{kijt} \right) \leq W, \quad (6)$$

$$w_{kijt} = \begin{cases} 1, & \text{если } t \in [t_i; t_i + \tau_{kijt}] \quad \forall i, j, k; \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

t_i – время начала i -го вида ремонтных работ по j -му конструктивному элементу k -го здания (многоквартирного жилого дома).

Это ограничение устанавливается опытным путем, исходя из возможности привлечения подрядных и субподрядных организаций к выполнению определенных видов работ на основании заключенных договоров подряда.

Ограничение на начало ремонтных работ, исключающее их выход за границы периода планирования T :

$$x_{kijt} = 0, \quad \text{если } t \geq T - \tau_{ij}(y_{kijt}); \quad k = 1, \dots, K; \\ i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n_i. \quad (7)$$

На переменные x_{kijt} также налагаются ограничения, связанные с определенной последовательностью выполнения отдельных видов работ. Начальным условием выполнения отдельных видов работ на объекте будет невозможность начала последующей работы до тех пор, пока не закончена определенная часть предыдущей работы. Общая продолжительность выполнения работы определяется величиной τ_{kijt} . Для определения части предыдущей работы, по завершении которой становится возможным выполнение последующей работы используются коэффициенты совмещения работ по началу K_H и по окончанию K_0 . Величина коэффициентов совмещения определяется пользователем, исходя из технологических особенностей каждого вида работ по капитальному ремонту.

Обозначим t_i – время начала i -й работы.

$$x_{kijt} = 0, \quad \text{если} \\ t \in [t_{kij}; t_{kij} + K_H \times \tau_{kijt}] \quad \forall i, j, k. \quad (8)$$

Работы по ремонту j -го конструктивного элемента здания не могут проводиться параллельно с работой, имеющей индекс 0, что записывается в виде выражения:

$$x_{kijt} = 0, \quad \text{если} \\ t \in [t_{ki0i}; t_{ki0i} + \tau_{ki0i}] \quad \forall i, k. \quad (9)$$

При невозможности выполнить ограничение безаварийности (5) оно преобразуется в критерий оптимальности, минимизирующий наибольший (10) или средний ожидаемый износ (11) на протяжении периода планирования:

$$Y = \max(\tilde{y}_{kijt}) \rightarrow \min, \quad \forall k, j, t; \quad (10)$$

$$\bar{D} = \frac{1}{P * \sum_{k=1}^K n_{i:k}} \sum_{t=0}^{T-1} \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{n_i} y_{kijt} \rightarrow \min. \quad (11)$$

Общая схема формирования программы воспроизводства жилищного фонда включает два этапа:

- получение допустимого решения по критерию локальной оптимальности;
- оптимизация допустимого решения при помощи генетического алгоритма.

Целью первого этапа является поиск допустимого варианта решения задачи близкого к оптимальному при условии выполнения ограничений. Алгоритм получения допустимого варианта решения задачи представлен на рис. 2.

Этот алгоритм предусматривает, что первоначально все переменные x_{kijt} равны нулю. Это означает, что не запланировано выполнение ни одной работы. На каждом шаге алгоритм присваивает одной из переменных значение единица (заносит в план одну работу на момент времени t для j -го конструктивного элемента k -го здания, i -й категории) в соответствии с критерием локальной оптимальности и ограничениями. Для вычисления критерия локальной оптимальности используются ряды оценок затрат и эффекта (исходные данные из табл. 7):

$$h_{kijt} = e_{kijt} / c_{kijt}. \quad (12)$$

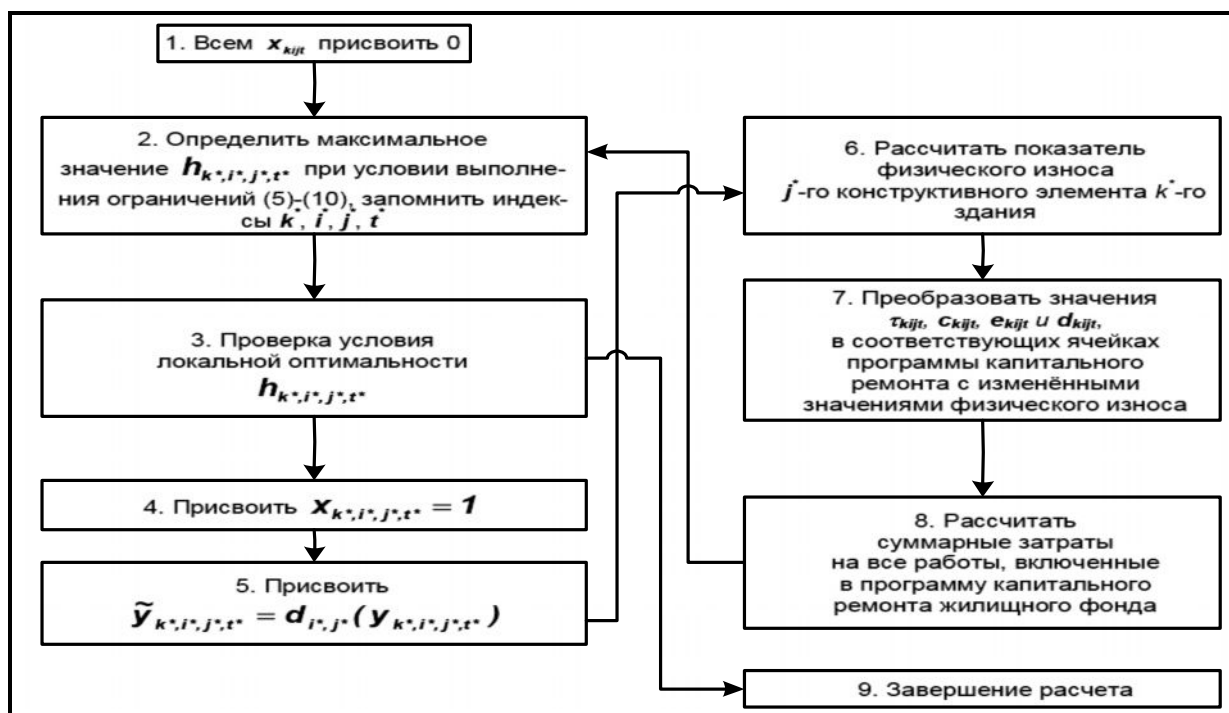


Рис. 2. Алгоритм получения допустимого варианта программы воспроизводства жилищного фонда

В ячейку плана, соответствующую максимальному значению критерия и установленным ограничениям, заносится единица.

Описанный шаг повторяется до тех пор, пока не будут исчерпаны финансовые средства C .

Полученное на первом этапе решение используется в качестве начального в алгоритме оптимизации допустимого варианта программы капитального ремонта жилищного фонда на втором этапе. Для решения задачи оптимизации программ воспроизводства жилищного фонда с применением генетических алгоритмов в качестве исходных данных (начальной популяции) используются расчетные значения сметной стоимости c_{kijt} , соответствующие каждой позиции вектора, то есть каждому блоку ремонтных работ.

Тогда исходным решением нашей задачи в формализованном виде для варианта m будет ограничение на объем финансовых ресурсов (4), которое можно записать следующим образом:

$$C^m = \sum_{i=0}^{T-1} \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{n_i} x_{kijt} c_{kijt} p_j^m \leq C, \tag{13}$$

где P_j^m – вероятность воспроизведения вида работ (его реализации в рамках программы капитального ремонта жилищного фонда) с учетом установленных исходных значений сметной стоимости, которая определяется по формуле:

$$p^m = C^m / \sum_{m=1}^Q C^m. \tag{14}$$

Поскольку основные характеристики ремонтных работ не претерпевают изменений, то условие (13) можно представить в таком виде

$$C^m = \sum_j c_{kijt} * p_j^m = (c, p^m). \tag{15}$$

Выражение (c, p^m) означает скалярное произведение вектора $c = \{c_{kijt}\}$ на вектор $p^m = \{P_j^m\}$, а проекции век-

тора P_j^m принимают значения от нуля или единицы. Таким образом, формула (15) описывает значение целевой функции, для которой необходимо найти максимум при ограничении вида

$$\Sigma C^m \leq C, \tag{16}$$

где C – объем средств, выделенных для реализации программы капитального ремонта жилищного фонда.

Первым шагом в последовательности применения математического инструментария генетических алгоритмов является поиск в исходной популяции (программе воспроизводства жилищного фонда) потенциальных решений (наборов ремонтных работ) размером Q . Он реализуется посредством генерации случайных выборок из нулей и единиц с последующим отбором элементов (видов работ), удовлетворяющих условию (16). Оператор отбора осуществляет выбор потенциальных пар «родителей» (видов работ) для создания новой популяции на основе максимальных расчетных значений показателя вероятности их воспроизведения (реализации в рамках программы) с учетом установленных исходных значений сметной стоимости. В методологии эволюционных вычислений этот показатель называется фитнес-функцией. По его расчетным значениям происходит ранжирование исходной популяции (набора видов работ на объектах программы) по вероятности их потенциальной реализации. Исходя из формулы (4), можно предположить, что виды работ с максимальной сметной стоимостью будут иметь наибольшие значения этого показателя.

Следующим шагом работы генетического алгоритма является создание новой популяции элементов (потомка предыдущей популяции), из состава элементов, отобранных на предыдущем этапе, то есть имеющих наибольшие значения показателя вероятности воспроизведения p^m . Для этого при помощи стандартных операторов скрещивания и мутации осуществляется

выбор элементов, имеющих наибольшие значения расчетного показателя вероятности воспроизведения.

Чтобы получить оптимальное решение надо правильно выбрать способ скрещивания и место разрыва в цепи родительской пары (исходных видов работ). Практика показывает, что прерывать уже начатый производством вид работ нецелесообразно. Вариации с началом или окончанием выполнения конкретных видов работ возможны на основе использования коэффициентов совмещения по началу и(или) окончанию того или иного вида работ.

Для внесения элемента случайности в изменение начальной популяции (набора видов работ по программе) применяется оператор мутации, посредством которого происходит стохастическое изменение части (одного или нескольких) элементов исходной строки по отдельным видам работ. В результате работы этого оператора значения конкретного элемента строки изменяются на противоположные, т.е., ноль меняется на единицу, и наоборот. На практике это означает перенос начала выполнения того или иного вида работ на конкретном объекте на более ранние (при изменении нуля на единицу) или на более поздние (при изменении единицы на ноль) сроки.

При оптимизации программы воспроизводства жилищного фонда оператор мутации позволяет не только переносить начало выполнения того или иного вида работ на более ранние или более поздние сроки, но и вообще исключать его из рассмотрения. Для выполнения критерия оптимизации в этом случае возникает необходимость либо увеличения объемов выполнения этого же вида работ на других объектах, либо включение в программу новых объектов при условии своевременного обеспечения их финансирования.

Таким образом, на основе отбора элементов, имеющих наибольшие значения расчетного показателя вероятности воспроизведения, и работы операторов скрещивания и мутации происходит формирование нового поколения (допустимого варианта программы).

На завершающем шаге работы генетического алгоритма новое поколение объявляется текущим и выполняется его проверка по критерию оптимальности.

Описанная последовательность будет повторяться до тех пор, пока на одном из потомков исходной популяции (программы воспроизводства жилищного фонда) не будет достигнуто условие $\Sigma C^m = C$. Если это условие не достигнуто, а число итераций не превышает предельно допустимого значения I_{max} (обычно устанавливается перед началом расчетов), то из всех полученных вариантов снова отбираются Q лучших по показателю новой расчетной вероятности воспроизведения и процесс повторяется, начиная с сопоставления вероятности воспроизведения.

Разработанный алгоритм формирования и оптимизации программы воспроизводства жилищного фонда в любом случае будет конечным, поскольку расчеты заканчиваются либо в случае достижения абсолютного результата ($\Sigma C^m = C$), либо в случае достижения установленного значения предельно допустимого числа итераций I_{max} .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенных исследований установлено, что использование генетических алгоритмов для формирования программ воспроизводства жилищного фонда позволяет не только находить решение оптимизационных задач большой размерности и

проводить сами расчеты при изменении значений исходных параметров, но и учитывать различные модификации целевых значений расчетных показателей при изменении существующих ограничений. Если при использовании традиционных методов оптимизации изменение исходных параметров влечет за собой необходимость перерасчета всей задачи, то применение генетических алгоритмов позволяет легко видоизменять и дополнять решение оптимизационной задачи при помощи специального инструментария – так называемых операторов скрещивания и мутации. Таким образом, применение генетических алгоритмов целесообразно не только на этапе формирования программы воспроизводства жилищного фонда, но и при ее непосредственной реализации, поскольку обеспечивает поиск наиболее эффективных вариантов ее выполнения с учетом возможных изменений целевых объемов финансирования и(или) ресурсных ограничений.

Ларин Сергей Николаевич

Литература

1. Бережная Е.В. Математические методы моделирования экономических систем [Текст] / Е.В. Бережная, В.И. Бережной. – М.: Финансы и статистика, 2005. – 368 с.
2. Гришин А.Ф. и др. Статистические модели в экономике [Текст] / А.Ф. Гришин, С.Ф. Котов-Дарти, В.Н. Ягунов. – Ростов н/Д: Феникс, 2005. – 344 с.
3. Еремеев А.В. Генетические алгоритмы и оптимизация [Текст]: учеб. пособие / А.В. Еремеев. – Омск: ОмГУ, 2008.
4. Замков О.О. и др. Математические методы в экономике [Текст]: учеб. / О.О. Замков и др. – 2-е изд. – М.: ДИС, 2004. – 368 с.
5. Ильченко А.Н. Экономико-математические методы [Текст]: учеб. пособие / А.Н. Ильченко. – М.: Финансы и статистика, 2006.
6. Колемаев В.А. Математическая экономика [Текст] / В.А. Колемаев. – М.: ЮНИТИ, 2005. – 399 с.
7. Коробов П.Н. Математическое программирование и моделирование экономических процессов [Текст] / П.Н. Коробов. – М.: ДНК, 2006. – 375 с.
8. Ларин С.Н. Капитальный ремонт как основа воспроизводства жилищного фонда в кризисных условиях [Текст] / С.Н. Ларин, Н.Л. Евдокименко // Региональная экономика: теория и практика. – 2009. – №29. – С. 34-39.
9. Лежнев А.В. Динамическое программирование в экономических задачах [Текст] / А.В. Лежнев. – М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2006.
10. Орехов Н.А. и др. Математические методы и модели в экономике [Текст] / Н.А. Орехов, А.Г. Левин, Е.А. Горбунов. – М.: ЮНИТИ, 2004. – 302 с.
11. Панченко Т.В. Генетические алгоритмы [Текст] / Т.В. Панченко; под ред. Ю.Ю. Тарасевича. – Астрахань: Астраханский университет, 2007. – 87 с.
12. Усимов А.В. Становление и развитие сетевого планирования и управления [Текст] / А.В. Усимов // Современное управление. – 2006. – №11: – С. 95-100.
13. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gks.ru>.
14. Федосеев В.В. Экономико-математические методы и прикладные модели [Текст] / В.В. Федосеев. – М.: ЮНИТИ, 2005. – 391 с.
15. Шелобаев С.И. Экономико-математические методы и модели [Текст] / С.И. Шелобаев. – М.: ЮНИТИ, 2005. – 286 с.
16. Goldberg D.E. The design of innovation: lessons from and for competent genetic algorithms // Kluwer academic publishers. Boston, MA 2002.

Ключевые слова

Жилищный фонд; капитальный ремонт; математический аппарат; методология эволюционных вычислений; генетический алгоритм.

10.10. MODERN TOOLKIT OF MODELLING AND OPTIMIZATION PROGRAMS OF REPRODUCTION OF AVAILABLE HOUSING

S.N. Larin, Candidate of Technical Sciences,
Senior Research Worker

Central Economics and Mathematical Institute RAS.

The modern condition of available housing and necessity of reforming of sphere of housing and communal services stimulated active search of new approaches to modelling and optimisation of programs of reproduction of available housing. The analysis of methods applied to it and models of network planning and management has shown their inconsistency in the conditions of market transformations. As the new approach it is offered to use mathematical toolkit of methodology of evolutionary calculations which allows not only to leave from use of network models, but also raises sensitivity of model to resource restrictions. Besides, this approach provides search not an absolute optimum, and more «optimum» decision in comparison with received earlier or set as the initial. Thereupon it is possible to assert, that it to the greatest degree corresponds to modern practice of market transformations in housing and communal services sphere.

Literature

1. E.V. Berezhnaya, V.I. Berezhnoy. *Mathematical methods of modeling of economic systems.* – Moscow: Finance and Statistics, 2005. – 368 p.
2. A.F. Grishin, S.F. Kotov-Darty, V.N. Yagunov. *Statistical models in the economy.* – Rostov on Don: Feniks, 2005. – 344 p.
3. Data of an official site of Federal service of the state statistics. An electronic resource. An access code: <http://www.gks.ru>.
4. A.V. Yeremeyev. *Genetic algorithms and optimisation. The manual.* – Omsk: OmGU, 2008. p. 23.
5. O.O. Zamkov. and other. *Mathematical methods in economics. Textbook. 2-nd ed.* – M.: Thesis, 2004. – 368 p.
6. A.N. Ilchenko. *Economic and mathematical methods: Study ben-beats.* – Moscow: Finance and Statistics, 2006.
7. V.A. Kolemaev. *Mathematical Economics.* – Moscow: UNITY, 2005. – 399 p.
8. P.N. Korobov. *Mathematical programming and simulation of economic processes.* – M.: DNA, 2006. – 375 p.
9. S.N. Larin, N.L. Evdokimenko. Major repairs as a basis of reproduction of available housing in crisis conditions. // *Regional economy: the theory and practice*, 2009. №29. p.34-39.
10. A.V. Lezhnev. *Dynamic programming in economic cottages.* – M.: Bean, Laboratory of Knowledge, 2006.
11. N.A. Orehov, A.G. Levin, E.A. Gorbunov. *Mathematical methods and models in economics.* – Moscow: UNITY, 2004. – 302 p.
12. T.V. Panchenko. *Genetic algorithms. Under the editorship of J.J. Tarasevich.* – Astrakhan: ID «Astrakhan University», 2007. – 87 p.
13. A.V. Usimov. Formation and development of network planning and management // *Journal of Contemporary Management*, 2006. №11. p.95-100.
14. V.V. Fedoseev. *Economic-mathematical methods and applied models.* – Moscow: UNITY, 2005 – 391 p.
15. S.I. Shelobaev. *Economic-mathematical methods and models.* – Moscow: UNITY, 2005. – 286p.
16. D.E. Goldberg. *The Design of Innovation: Lessons from and for Competent Genetic Algorithms* // Kluwer Academic Publishers, Boston, MA 2002.

Keywords

Housing repair; mathematical tools; the methodology of evolutionary computation; genetic algorithm.

РЕЦЕНЗИЯ

Поддержание нормального воспроизводства существующего жилищного фонда посредством проведения капитального ремонта в современных условиях как никогда важно и актуально. Отечественная экономика еще не преодолела последствий мирового финансового кризиса и большинство отраслей испытывают острый недостаток средств для модернизации и дальнейшего развития. Поскольку сфера жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) является одной из наиболее капиталоемких, то негативные последствия кризиса проявились в ней в большей степени, особенно на уровне региональных и муниципальных образований. Нехватка средств на строительство нового жилья, а так же его значительный износ повлекли за собой переориентацию значительных объемов финансовых ресурсов на воспроизводство существующего жилищного фонда посредством проведения капитального ремонта.

В статье много внимания уделено анализу применявшихся для формирования программ воспроизводства жилищного фонда методов и моделей сетевого планирования и управления. Автором проведен достаточно детальный разбор различных условий практического применения детерминированных, вероятностных и стоимостных моделей сетевого планирования и управления, а так же обоснованы достоинства и недостатки применявшихся для их расчета методов. Проведенный анализ показал несостоятельность дальнейшего применения методов и моделей сетевого планирования и управления для решения рассматриваемой задачи в условиях рыночных преобразований сферы ЖКХ.

В качестве нового математического аппарата для формирования программ воспроизводства жилищного фонда автором предложено использовать инструментарий методологии эволюционных вычислений (генетических алгоритмов). Этот подход позволяет повысить чувствительность модели к ресурсным ограничениям и устраняет необходимость использования сетевых моделей. Его безусловным достоинством является достаточно быстрый поиск более оптимального решения по сравнению с популярным ранее или заданным в качестве начального. Поскольку предлагаемый подход позволяет получить не абсолютный оптимум, а набор допустимых вариантов оптимальных в конкретной ситуации решений, то можно утверждать, что он в наибольшей степени соответствует современной практике рыночных трансформаций в сфере ЖКХ. Последнее обстоятельство характеризует новизну подхода к решению проблемы формирования программ воспроизводства жилищного фонда.

В научном плане ценность статьи заключается в системном понимании автором необходимости решения рассматриваемой проблемы на современном этапе реформирования отношений между хозяйствующими субъектами в сфере ЖКХ, начиная с учета интересов государства, региональных и муниципальных органов управления, а так же всех хозяйствующих субъектов этой сферы, и заканчивая учетом интересов собственников жилья. Приведенный алгоритм проведения расчетов объединяет в себе через различные ограничения и целевые показатели интересы всех участников процесса воспроизводства жилищного фонда и может использоваться для формирования и практической реализации адресных региональных программ его капитального ремонта.

По моему мнению, автору удалось грамотно обосновать целесообразность использования методологии эволюционных вычислений и математического аппарата генетических алгоритмов в качестве нового инструментария для формирования программ воспроизводства жилищного фонда. Предложенный им подход позволяет не только находить решение оптимизационных задач большой размерности и проводить сами расчеты при изменении значений исходных параметров, но и учитывать различные модификации целевых значений расчетных показателей при изменении существующих ограничений.

Вывод. Рецензируемая статья выполнена на высоком научном уровне и представляет несомненный интерес как для исследователей-теоретиков, так и для практиков-экспериментаторов, а так же ряда категорий муниципальных работников, занимающихся формированием и оптимизацией программ воспроизводства жилищного фонда посредством проведения капитального ремонта. На основании изложенного выше рекомендую данную статью к опубликованию в журнале «Аудит и финансовый анализ».

Хрусталев Е.Ю., д.э.н., в.н.с., Центральный экономико-математический институт Российской Академии наук