
ОТРАСЛЕВЫЕ
ПРОБЛЕМЫ

НОВЫЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ФОРМИРОВАНИЯ
И ОПТИМИЗАЦИИ ПРОГРАММ ВОСПРОИЗВОДСТВА
ЖИЛИЩНОГО ФОНДА*

© 2012 г. С.Н. Ларин

(Москва)

Предложено новое решение проблемы воспроизводства жилищного фонда в условиях ограниченных финансовых ресурсов и возрастания степени неопределенности выработки и принятия управленческих решений в современной экономике России. В качестве основного объекта исследований выбран инструментарий формирования программ воспроизводства жилищного фонда. Обоснованы возможность и целесообразность использования методологии эволюционных вычислений и математического аппарата генетических алгоритмов в качестве нового инструментария для формирования и оптимизации программ воспроизводства жилищного фонда. Разработаны экономико-математическая модель и алгоритм формирования и оптимизации таких программ.

Ключевые слова: жилищный фонд, капитальный ремонт, методология сетевого планирования и управления, методология эволюционных вычислений, математический инструментарий генетических алгоритмов.

Жилищно-коммунальное хозяйство (ЖКХ) является одной из самых больших и социально значимых сфер российской экономики. На сегодняшний день она включает в себя более 5,2 тыс. организаций с общим числом работающих в них более 4,2 млн чел., а стоимость основных фондов сферы ЖКХ достигает 14% общей стоимости основных фондов страны (Федеральная служба государственной статистики, 2012).

Системообразующим элементом сферы ЖКХ является жилищный фонд. Его нормальное воспроизводство осуществляется за счет строительства нового жилья и проведения модернизации, текущего или капитального ремонта существующего жилищного фонда. Сегодня жилищный фонд Российской Федерации составляет более 30% всего воспроизводимого недвижимого имущества страны и насчитывает более 19 млн объектов общей площадью в 3,18 млрд м² (Федеральная служба государственной статистики, 2012). Однако его состояние не соответствует современному уровню технологических и экономических нормативов.

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 Российской Федерации. Площадь ветхого и аварийного жилья в целом по стране составляет 93 млн м² (Федеральная служба государственной статистики, 2012).

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

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 11-06-00101а).

ремонта является восстановление и целесообразное улучшение эксплуатационных показателей жилищного фонда и обеспечение надежности его функционирования.

В современных условиях организация и проведение капитального ремонта невозможны без учета организационно-экономических условий и потенциала как отдельных субъектов, так и города как системы в целом. Определение источников финансирования капитального ремонта, формирование фондов для его проведения и повышение эффективности их использования – все эти и другие вопросы требуют формирования нового механизма и инструментария для управления этим процессом.

Как экономическая категория механизм управления капитальным ремонтом жилищного фонда включает в себя следующие основные структурные элементы:

- принципы управления как фундаментальные идеи управленческой деятельности;
- цели управления как некоторый заданный результат и задачи как следствие поставленных целей;
- методы управления – инструментарий, способы и технологии, позволяющие достигнуть поставленных целей;
- функции управления, т.е. специализированные виды управленческой деятельности, выделенные в процессе обособления управленческого труда;
- ресурсы управления, включающие материально-технические, финансовые, социальные, институциональные и другие ресурсы, при использовании которых реализуются выбранные методы управления и обеспечивается достижение поставленной цели (Райзберг, Лозовский, Стародубцева, 2005).

В числе указанных структурных элементов наибольший интерес представляет инструментарий, способы и технологии достижения поставленных целей. При этом методической основой построения новой системы управления реализацией программ капитального ремонта многоквартирных домов является внедрение новых технических, технологических и проектных решений.

Однако, прежде чем обосновать выбор какого-либо метода в качестве инструментария для формирования программ проведения капитального ремонта жилищного фонда, необходимо проанализировать существующие методы и подходы, которые применялись, а в ряде случаев и продолжают применяться в настоящее время для решения данной задачи.

Сложность задачи формирования программ проведения капитального ремонта жилищного фонда 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 др. Изменение любого из указанных показателей окажет 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 на выполнении определенных видов работ на конкретных объектах, включенных в муниципальную программу капитального ремонта жилищного фонда.

Поскольку основным критерием оценки успешной реализации такого рода программ является максимально эффективное использование всех видов ресурсов, то в качестве одного из важнейших инструментальных средств формирования прогнозов и реализации планов проведения капитального ремонта жилищного фонда изначально применялась балансовая модель. Она используется для увязки существующей потребности в ремонте с выделенными на эти цели ресурсами. Входными данными модели являются потребность в капитальном ремонте жилищного фонда, сведения о наличии ремонтных ресурсов и приоритеты объектов ремонта. Модель определяет набор жилых домов, ремонт которых может быть выполнен на выделенные средства. Однако балансовая модель не позволяла определять очередность проведения ремонтных работ на объектах программы.

Вторым подходом стало решение задач объемного планирования, в соответствии с которым основным критерием формирования программ капитального ремонта жилищного фонда являлся минимум суммарных затрат при выполнении ряда ограничений. Однако этот подход не учитывает изменение физического состояния объектов ремонта в пределах планового периода и связанные с этим изменения затрат на ремонт, длительности ремонта и не определяет набор объектов ремонта и порядка проведения отдельных видов ремонтных работ.

Третий подход предполагал решение задач календарного планирования, то есть нахождение такого распределения исполнителей по объектам программы капитального ремонта жилищного фонда (с учетом заданных приоритетов и ограничений), чтобы она была выполнена в нормативно установленные сроки, а общий объем проведенных ремонтных работ в финансовом выражении был максимален. Этот подход не предусматривал максимизацию объемов по отдельным видам ремонтных работ и количеству объектов, подлежащих ремонту.

Для решения сложных оптимизационных задач, получения точных решений которых в рамках процесса планирования ремонтных работ достаточно затруднительно, стала применяться методология сетевого планирования и управления (СПУ). Хотя на сегодняшний момент методология СПУ достаточно сильно развита и имеет в арсенале мощный экономико-математический потенциал, тем не менее существует проблема использования методов и моделей сетевого планирования и управления в условиях неопределенности различных факторов внешней и внутренней среды.

Изначально экономистами разрабатывались детерминированные модели СПУ, предполагающие достаточно высокую точность определения их показателей. Как в зарубежной, так и в отечественной практике использовались временные модели, которые позволяли оптимизировать ход выполнения проекта во времени без учета использования прочих ресурсов и разного рода ограничений. В экономической литературе известны стоимостные модели СПУ, способствовавшие значительному сокращению расходов, связанных с осуществлением проекта за счет временной и стоимостной оптимизации (Усимов, 2006). Применение детерминированных моделей СПУ основано на предположении о том, что показатели, характеризующие анализируемые объекты (предприятия, отрасли, производственные подразделения и т.п.), могут быть определены точно. Такой подход нашел свое применение в условиях административного и жестко централизованного управления экономикой.

С переходом от централизованного управления к рыночным методам хозяйствования в экономике стали использоваться методы, сочетающие в себе государственное управление и рыночные механизмы. Появилась необходимость учитывать факторы многочисленных рисков, свойственных рыночной экономике. В этой связи изменился характер использования моделей СПУ: в них стали учитываться не только оптимизация временных и стоимостных параметров проекта, но также и технические, экономические, информационные и иные показатели, которые рассматривались в качестве ограничений конкретной модели в зависимости от постановки задачи. В этих условиях применение детерминированных моделей СПУ стало ограниченным, поскольку они не позволяли получать удовлетворительный результат при условии учета одновременного влияния многих факторов, таких как действия конкурентов, спрос, предложение и т.п.

Более актуальными и востребованными в условиях рыночной экономики стали вероятностные модели СПУ. Вероятностная постановка задач СПУ более адекватно отображает реальные процессы планирования и управления. Поэтому применение вероятностных моделей позволяет уменьшить риск при выборе эффективных решений (Федосеев, 2005). Однако для получения удовлетворительных результатов с использованием этих моделей необходимо заранее (до начала выполнения расчетов) определить ряд вероятностных характеристик, описывающих поведение изучаемых процессов и объектов. В рыночных условиях хозяйствования ощущается недостаток статистической информации о действиях хозяйствующих 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. Существенные ограничения и трудности в выявлении законов распределения и параметров этих закономерностей в условиях постоянно изменяющейся внешней конкурентной среды является главным недостатком применения этих моделей.

Следующим классом задач сетевого планирования и управления являются задачи с полной неопределенностью, обусловленной отсутствием информации о вероятностных характеристиках анализируемых объектов. 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 $X = \{X_i\}$, $i = 1, \dots, n$, наряду с которыми в модели СПУ необходимо учитывать совокупность неконтролируемых (неуправляемых) факторов $Y = \{Y_j\}$, $j = 1, \dots, m$. 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. $E = E(X, Y)$.

Обобщая рассмотренные выше возможности применения сетевых моделей для формирования программ капитального ремонта 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 информации, 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 нуждается в проведении разного рода корректировок и новом перерасчете (Хрусталева, Ларин, 2011).

Для устранения отмеченных недостатков предлагается новый подход к реализации программ капитального ремонта жилищного фонда, который обеспечивает эффективные результаты как с позиций затрачиваемого времени, так и с точки зрения оптимизации ресурсного, прежде всего финансового, обеспечения. В основе этого подхода используется методология эволюционных вычислений и математический аппарат генетических алгоритмов, позволяющие в короткие сроки находить достаточно близкое к оптимальному решение задачи поиска допустимого результата для таких сложных систем, как реализация программ воспроизводства жилищного фонда (Ларин, Хрусталева, 2010).

Сегодня при решении большинства сложных задач основной целью является поиск уже не абсолютного оптимума, а некоего решения, дающего большее значение целевой функции по сравнению с полученным ранее или заданным в качестве начального. Такое решение далее будем называть условно допустимым. Для получения такого решения определенное преимущество перед остальными получают методы, использующие элемент случайности. Однако даже с такими допущениями непосредственный случайный поиск является малоэффективным. Исследования разных авторов показывают, что внесение в такие методы элементов детерминированности дает значительное улучшение показателей. Одним из типов таких «частично» случайных методов является математический аппарат методологии эволюционных вычислений, который основан на некоторых формализованных принципах естественного эволюционного процесса (Goldberg, 2002; Курейчик, Родзин, 2003). Чаще всего этот аппарат используется для поиска близких к оптимальным решений и их последующей оптимизации при помощи генетических алгоритмов (Goldberg, Deb, Clark, 1992). Детерминированность этого подхода заключается в моделировании природных процессов отбора, размножения и наследования, происходящих по строго определенным правилам. Основным из них является закон эволюции: «выживает наиболее приспособленный», что и обеспечивает улучшение нового решения по сравнению с исходным. Другим важным фактором эффективности эволюционных вычислений является моделирование процессов размножения и наследования, когда из рассматриваемых вариантов решений на основе определенных правил продуцируются новые решения, которые будут наследовать лучшие черты своих «предков». В качестве случайного элемента в методах эволюционных вычислений может использоваться, например, моделирование процесса мутации. В этом случае характеристики того или иного решения могут быть изменены случайным образом, что приведет к новому направлению в процессе эволюции решений и может ускорить процесс выработки лучшего решения.

Как и всякий метод, использующий элемент случайности, эволюционные вычисления 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.

Суть генетических алгоритмов заключается в представлении любой альтернативы решения в виде строки параметров (например битовой строки фиксированной длины), манипуляции с которой производится в отсутствие всякой связи с ее смысловой интерпретацией. То есть в данном случае применяется единое универсальное представление любой задачи. Каждый код при этом представляет, по сути, точку пространства поиска. Руководствуясь терминами методологии эволюционных вычислений, экземпляр кода можно считать особью или индивидуумом. На каждом шаге работы генетический алгоритм использует несколько точек поиска параллельно. Совокупность этих точек представляет собой некий набор особей, который называется популяцией. Формирование исходной популяции происходит с использованием какого-либо случайного закона, позволяющего отбирать нужное количество точек в пределах поискового пространства (Еремеев, 2008, с. 23). Исходная популяция может также быть результатом работы какого-либо другого алгоритма оптимизации.

На основе моделирования процесса размножения в ходе работы алгоритма происходит генерация новых особей. При этом порождающие особи называются родителями, а порожденные – потомками. Родительская пара, как правило, порождает пару потомков. Непосредственная генерация новых кодовых строк из двух выбранных происходит за счет работы оператора скрещивания, который также называют кроссинговером или кроссовером. Моделирование процесса мутации новых особей осуществляется за счет работы оператора мутации. Основным параметром оператора мутации является вероятность мутации. Поскольку размер популяции не может быть неограниченным, порождение потомков должно сопровождаться уничтожением других особей. Выбор пар родителей из популяции для порождения потомков производит оператор отбора, а выбор особей для уничтожения – оператор редукции. Основным параметром их работы является, как правило, качество особи или приспособленность, которое определяется значением целевой функции в точке пространства поиска, описываемой этой особью.

В процессе работы генетического алгоритма все указанные выше операторы применяются многократно и ведут к постепенному изменению исходной популяции. Поскольку операторы отбора, скрещивания, мутации и редукции по своей сути направлены на улучшение каждой отдельной особи, результатом их работы является постепенное улучшение популяции в целом. В этом и заключается основной смысл работы генетического алгоритма – улучшить популяцию решений по сравнению с исходной.

Использование генетических алгоритмов предоставляет возможность не только находить решение оптимизационных задач большой размерности за достаточно короткое время и проводить сами расчеты при изменении значений исходных параметров на стадии формирования программ, но и учитывать различные модификации целевых значений расчетных показателей при соответствующих изменениях параметров ограничений. Другими словами, если при использовании традиционных методов оптимизации при изменении исходных параметров задачу приходится пересчитывать заново, то применение генетических алгоритмов позволяет решать оптимизационную задачу при помощи специального инструментария – так называемых механизмов отбора, скрещивания и мутации, позволяющих достаточно легко дополнять и видоизменять набор особей (работ) в популяции (Еремеев, 2008). Это обстоятельство является одним из важнейших преимуществ, определивших выбор генетических алгоритмов в качестве методологической основы решения рассматриваемой нами задачи. Другим несомненным преимуществом этого инструментария является получение допустимых результатов значительно раньше, чем при использовании простых алгоритмов поиска типа метода Монте-Карло (Федосеев, 2005).

Основным ограничением при формировании программ проведения капитального ремонта жилищного фонда в условиях внедрения нового подхода к их обеспечению финансовыми ресурсами является объем финансирования. Этот показатель определяется как суммарная величина средств собственников жилья, которые они готовы инвестировать в его капитальный ремонт, а также средств бюджетов всех уровней (федерального, регионального, местного), которые в

Таблица. Техничко-экономические зависимости для здания категории i

Коэффициент физического износа	Конструктивный элемент (j)			
	Фундаменты ($j = 1$)	Стены ($j = 2$)	...	Электрооборудование ($j = n_i$)
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	$\tau_{i1}(0,9), e_{i1}(0,9), c_{i1}(0,9)$	$\tau_{i2}(0,9), e_{i2}(0,9), c_{i2}(0,9)$...	$\tau_{in_i}(0,9), e_{in_i}(0,9), c_{in_i}(0,9)$

условиях мирового экономического и финансового кризиса, скорее всего, будут рассчитываться как некие значения лимитов. Поэтому при разработке программ проведения капитального ремонта жилищного фонда необходимо определить такую последовательность их реализации, чтобы за один период финансирования (как правило, календарный год) был завершен максимальный объем работ, пропорциональный общей сумме финансирования с учетом ограничений по его выполнению. Невыполнение данного обстоятельства приведет, с одной стороны, к неполному использованию средств из бюджетов разного уровня и других источников финансирования, а с другой – к снижению ожидаемого социального эффекта с последующими проблемами с реализацией программ проведения капитального ремонта жилищного фонда в дальнейшем.

Представим описанный выше подход к формированию программ проведения капитального ремонта жилищного фонда в формализованном виде.

Для учета конструктивных особенностей объектов жилищного фонда, подлежащих капитальному ремонту, сгруппируем все множество многоквартирных жилых домов 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 капитального ремонта жилищного фонда ведется на временном периоде длительностью T , обозначим за y_{kij} вид работ по капитальному ремонту конструктивного элемента j здания k , относящегося к категории i , в момент времени t ; $k = 1, \dots, K$; $i = 1, \dots, m$; $j = 1, \dots, n_i$; $t = 0, \dots, T - 1$.

В качестве исходных данных для решения задачи формирования программы капитального ремонта жилищного фонда используются ряды последовательных оценок затрат для каждого вида работ по капитальному ремонту конструктивных элементов $y_{kij}(t)$, полученных в результате обследования жилищного фонда. При решении задачи формирования программы капитального ремонта жилищного фонда требуется определить функции, для которых нет аналитических зависимостей. В то же время факторы, имеющие наибольшее значение, известны: физический износ, тип здания, продолжительность ремонтных работ, объем финансовых затрат и т.д. Поэтому возможно табличное задание этих функций. Таблицы строятся на основе статистических данных, полученных в результате обследований и ремонтных работ жилищного фонда. Таким образом, для каждого вида работ по капитальному ремонту определяются следующие параметры: ориентировочная продолжительность ремонтных работ τ_{ij} , объем финансовых затрат на проведение капитального ремонта c_{ij} , ожидаемые поступления оплаты за жилищно-коммунальные услуги за период времени до следующего капитального ремонта (ожидаемый экономический эффект от капитального ремонта конструктивного элемента j здания типа i) e_{ij} , где j – тип конструктивного элемента, i – тип здания (см. таблицу).

Решение задачи построения плана ремонтных работ ведется 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,

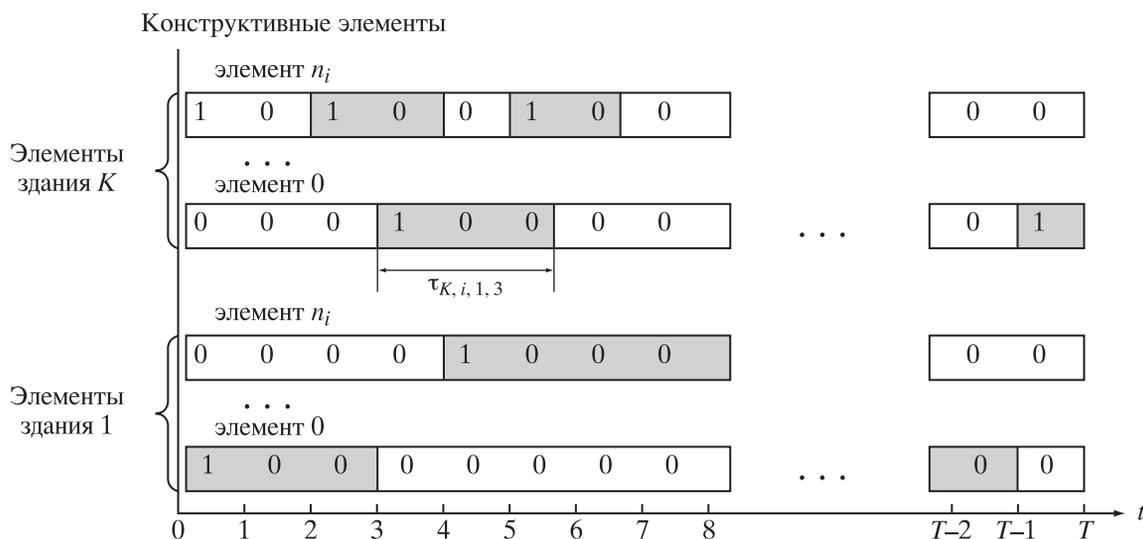


Рис. 1. Временные диаграммы производства ремонтных работ

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 1, если запланирован ремонт конструктивного элемента j здания k категории i в момент времени t , и 0 в остальных случаях. Совокупность переменных x_{kijt} определяет план работ. Таким образом, ожидаемые поступления за жилищно-коммунальные услуги за период времени до следующего капитального ремонта и затраты при выполнении ремонтной работы для элемента j здания k категории i в момент времени t определяются произведениями $x_{kijt} e_{kijt}$ и $x_{kijt} c_{kijt}$ соответственно. Тогда в качестве целевой функции формирования программы воспроизводства жилищного фонда примем разность между ожидаемыми поступлениями и затратами на проведение капитального ремонта в масштабе всей программы

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

Ограничение на объем финансовых ресурсов запишем в виде:

$$\sum_{t=0}^{T-1} \sum_{k=0}^K \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^{n_i} x_{kijt} e_{kijt} \leq C, \quad (2)$$

где C – максимальный (установленный) объем финансирования, выделенный для выполнения программы воспроизводства жилищного фонда.

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. В противном случае конструктивный элемент не подлежит капитальному ремонту по причине его экономической нецелесообразности, связанной с существенным ростом затрат на его проведение.

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:

$$\forall k, i, j, t: \tilde{y}_{kijt} \leq \hat{y}_{ij}. \quad (3)$$

Установим ограничение на количество одновременно выполняемых видов ремонтных работ:

$$\max_{\forall t} \left(\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{n_i} w_{kjt} \right) \leq W, \quad (4)$$

где

$$w_{kjt} = \begin{cases} 1, & \text{при } t \in [t_l; t_l + \tau_{kijt}] \quad \forall l, j, k; \\ 0 & \text{в остальных случаях;} \end{cases}$$

t_l – время начала ремонтных работ вида l ($l = 1, \dots, L$) по конструктивному элементу j здания k (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 выход процесса ремонта за границы периода планирования T , имеет вид:

$$x_{kijt} = 0, \text{ если } t \geq T - \tau_{ij}(y_{kijt}), \quad k = 1, \dots, K, \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, n_i. \quad (5)$$

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_O). Величина коэффициентов совмещения определяется пользователем, исходя из технологических особенностей каждого вида работ по капитальному ремонту.

Обозначим t_l – время начала работы l , тогда условие, при котором она не подлежит выполнению, можно записать следующим образом:

$$x_{kijt} = 0, \text{ если } t \in [t_{kijl}; t_{kijl} + K_H \tau_{kijt}] \quad \forall l, i, j, k. \quad (6)$$

Таким работам присваивают индекс 0. Изначально никакая ремонтная работа не должна проводиться параллельно с работой, имеющей индекс 0.

$$x_{kijt} = 0, \text{ если } t \in [t_{ki0}; t_{ki0} + \tau_{ki0l}] \quad \forall l, i, j, k. \quad (7)$$

В случае невозможности выполнить ограничение безаварийности (3) целесообразно преобразовать его в критерий оптимальности, минимизирующий наибольший (8) или средний (9) ожидаемый износ на протяжении периода планирования:

$$Y = \max(\tilde{y}_{kijt}) \rightarrow \min \quad \forall k, i, j, t: \tilde{y}_{kijt} \leq \hat{y}_{ij}, \quad (8)$$

$$\bar{D} = \left(P \sum_{k=1}^K n_{ik} \right)^{-1} \sum_{t=0}^{T-1} \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{n_i} \tilde{y}_{kijt} \rightarrow \min. \quad (9)$$

В общем случае схема формирования программы капитального ремонта жилищного фонда включает 2 этапа:

1) получение допустимого решения с учетом ограничений и принятого критерия оптимальности;

2) проведение оптимизации допустимого решения при помощи генетического алгоритма.

Целью первого этапа является поиск оптимального варианта решения задачи при условии выполнения ограничений. Алгоритм получения такого варианта решения задачи представлен на рис. 2.

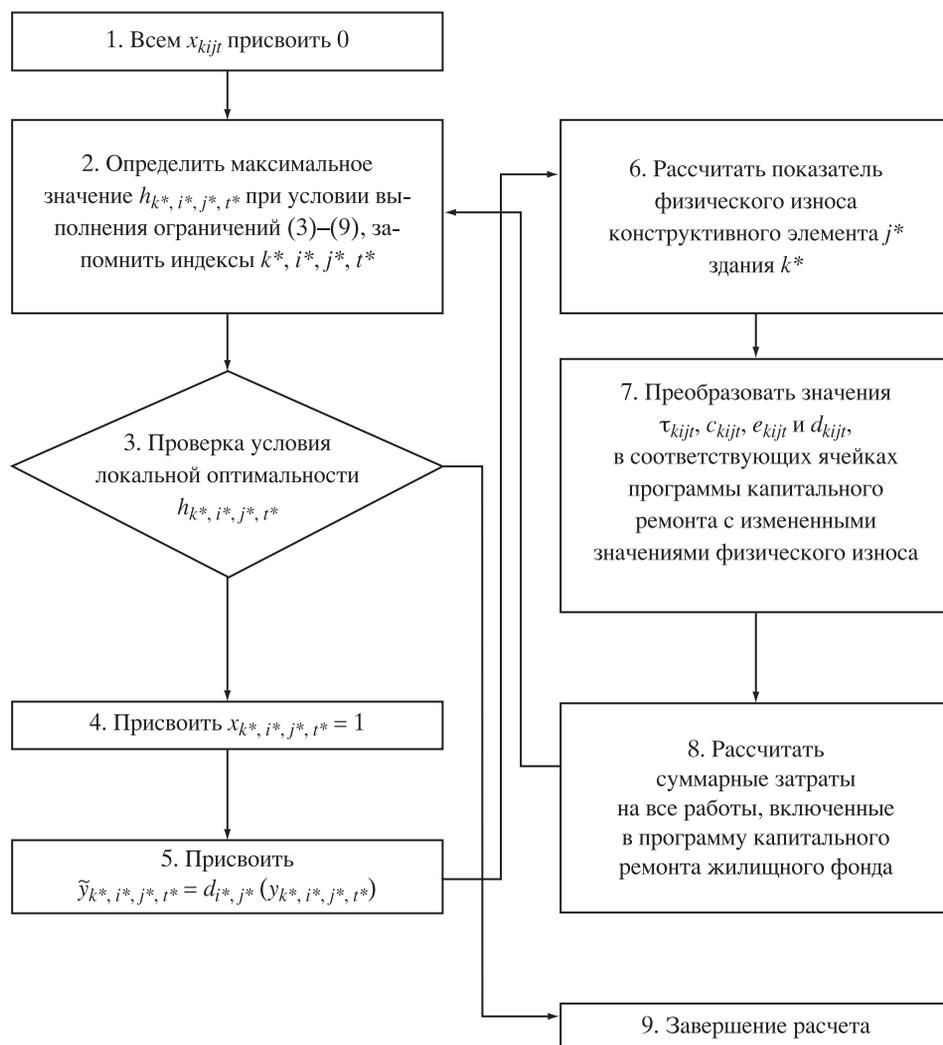


Рис. 2. Алгоритм получения допустимого варианта на первом этапе

Этот алгоритм предусматривает, что первоначально все переменные x_{kijt} равны 0. Это означает, что ни одна работа не запланирована. На каждом шаге алгоритм устанавливает одну из переменных в 1 (заносит в план одну работу на момент времени t для конструктивного элемента j здания k категории i) в соответствии с критерием локальной оптимальности и ограничениями.

Выбор конкретной работы для ее включения в программу ремонта осуществляется на основе вычисления критерия условной оптимальности h_{kijt} , который определяется как отношение ожидаемых поступлений от эксплуатации здания после ремонта к затратам на проведение ремонта по следующей формуле:

$$h_{kijt} = e_{kijt}/c_{kijt}. \tag{10}$$

В программу ремонта включается работа, имеющая максимальное значение критерия локальной оптимальности h_{kijt} . Если она соответствует остальным ограничениям, то в ячейку плана работ заносится 1. Описанный шаг повторяется до тех пор, пока не будут исчерпаны финансовые средства S , выделенные для выполнения программы воспроизводства жилищного фонда. Полученное на первом этапе решение имеет приближенный характер и может использоваться в качестве начального в алгоритме оптимизации программы капитального ремонта жилищного фонда на втором этапе. Для решения этой задачи целесообразно использовать эвристические численные методы. Одними из наиболее эффективных среди них являются генетические алго-



Рис. 3. Схема работы генетического алгоритма

ритмы. Схематично работа любого генетического алгоритма может быть представлена в виде следующей последовательности шагов (рис. 3).

Для оптимизации программ капитального ремонта жилищного фонда с применением генетического алгоритма в качестве исходных данных (начальной популяции) используются расчетные значения сметной стоимости c_{kijt} , соответствующие каждому блоку ремонтных работ.

Тогда исходным решением нашей задачи в формализованном виде для варианта z будет ограничение на объем финансовых ресурсов (2), которое можно записать следующим образом:

$$C^z \sum_{t=0}^{T-1} \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} x_{kijt} c_{kijt} p_j^z \leq C, \quad (11)$$

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

$$P^z = C^z \cdot \sum_{z=1}^Q C^z. \quad (12)$$

Поскольку основные характеристики ремонтных работ не претерпевают изменений, то условие (11) можно представить в таком виде

$$C^z = \sum_j c_{kijt} \times p_j^z = (c, p^z) \leq C. \quad (13)$$

В формуле (13) запись (c, p^z) означает скалярное произведение вектора $c = \{c_{kijt}\}$ на вектор $p^z = \{P_j^z\}$, а проекции вектора P_j^z принимают значения от 0 или 1.

Таким образом, формула (13) описывает значение целевой функции, для которой необходимо найти максимум при ограничении вида

$$\Sigma C^z = C, \quad (14)$$

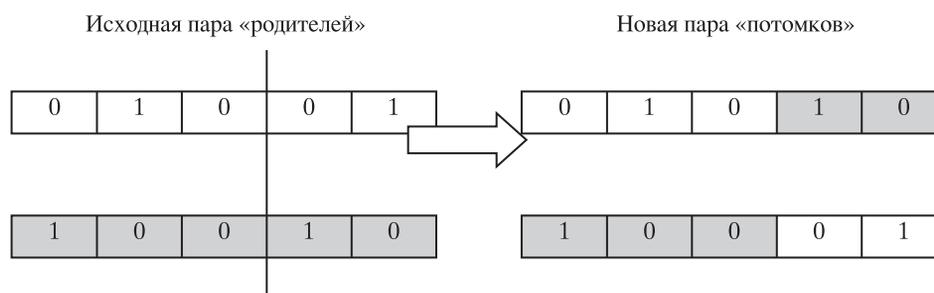


Рис. 4. Схема работы одноточечного оператора кроссинговера

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

Первым шагом в последовательности применения генетического алгоритма является поиск в исходной популяции (программе капитального ремонта жилищного фонда) потенциальных решений (наборов ремонтных работ) размером Q , который реализуется посредством генерации случайных выборок из нулей и единиц с последующим отбором элементов (видов работ), удовлетворяющих условию (14). Оператор отбора осуществляет выбор потенциальных пар «родителей» для создания новой популяции на основе максимальных расчетных значений показателя вероятности воспроизведения видов работ (их реализации в рамках программы капитального ремонта жилищного фонда) с учетом установленных исходных значений сметной стоимости их выполнения. В теории эволюционных вычислений (генетических алгоритмов) этот показатель принято называть фитнес-функцией, на основании расчета которой становится возможным отсортировать исходную популяцию видов работ на объектах программы капитального ремонта жилищного фонда по вероятности их потенциальной реализации. Исходя из формулы (2), будет естественным предположить, что большими значениями этого показателя будут обладать виды работ с максимальной сметной стоимостью. Однако знаменателем этой формулы является не суммарное значение сметной стоимости одного вида работ по всем объектам программы, а среднее значение этой величины, что на практике нивелирует сделанное ранее предположение. Описанная последовательность выбора отдельных видов работ соответствует технологии пропорционального отбора. В теории генетических алгоритмов существуют и используются и другие подходы к процедуре отбора – турнирный отбор (Goldberg, Deb, Clark, 1992), ранговый отбор, отбор усечением, элитарный отбор (см. (De Jong, 1975) и др. работы).

Основная идея работы генетического алгоритма состоит в том, чтобы, манипулируя имеющейся совокупностью бинарных представлений видов ремонтных работ по отдельным объектам (жилым домам), с помощью ряда генетических операторов получать новые варианты реализации программы капитального ремонта жилищного фонда. Поэтому следующим шагом работы генетического алгоритма является создание новой популяции элементов, так называемого потомка предыдущей популяции, из состава элементов, отобранных на предыдущем этапе, т.е. имеющих наибольшие значения показателя вероятности воспроизведения p^z . На этом этапе при помощи использования стандартных операторов генетического алгоритма – кроссинговера (скрещивания) и мутации – осуществляется выбор наиболее эффективных элементов (имеющих наибольшие значения расчетного показателя вероятности воспроизведения).

При помощи оператора кроссинговера осуществляется изменение состава исходной популяции путем скрещивания и обмена частями между двумя и более видами работ. На практике это означает остановку выполнения вида работ на одном объекте и начало его выполнения на другом объекте, т.е. происходит смена объектов, на которых выполняется определенный вид ремонтных работ. Схематически работа одноточечного оператора кроссинговера представлена на рис. 4.

Для того чтобы как можно быстрее получить решение, близкое к оптимальному, необходимо выбрать правильный способ кроссинговера, а также место разрыва в цепи родительской пары. На практике не является целесообразным прерывание уже начатого производства того или иного вида работ. Вариации возможны с началом или окончанием производства конкретных видов

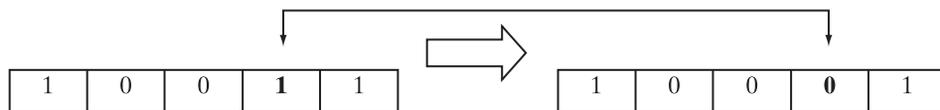


Рис. 5. Схема работы одноточечного оператора мутации

работ с использованием 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. Результатом работы этого оператора становится изменение значения конкретного элемента строки на противоположное, т.е. 0 меняется на 1 и наоборот. На практике это означает перенос начала выполнения того или иного вида работ на конкретном объекте на более ранние (при изменении 0 на 1) или более поздние (при изменении 1 на 0) сроки. Схематически работа оператора мутации представлена на рис. 5.

При оптимизации программы капитального ремонта жилищного фонда использование оператора мутации позволяет не только переносить начало выполнения того или иного вида работ на конкретном объекте 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 включения в программу новых объектов при условии обеспечения своевременного финансирования их выполнения (Ларин, Евдокименко, 2009).

Как видим, генетический алгоритм производит поиск решений двумя методами одновременно: отбором гиперплоскостей (*hyperplane sampling*) и методом случайного перебора (*hill-climbing*). Кроссинговер осуществляет первый из них, поскольку комбинирует и совмещает шаблоны «родителей» в их «потомках». Мутация обеспечивает второй метод, когда один или оба «потомка» случайным образом изменяются. При этом неудачные варианты вымирают (отбраковываются), а если полученное изменение оказалось полезным, то, скорее всего, этот «потомок» останется в новой популяции.

Возникает вопрос: какой же из этих методов лучше осуществляет поиск хороших решений? Исследования показали, что на простых задачах, таких как максимизация унимодальной функции, применение оператора мутации (без кроссинговера) позволяет находить решение быстрее. Также для такого метода требуется меньший размер популяции. На сложных многоэкстремальных функциях лучше использовать генетические алгоритмы с кроссинговером, поскольку этот метод более надежен, хотя и требует большего размера популяции.

С точки зрения генетики мутация может повредить росту количества представителей хороших «потомков», поскольку лишний раз их разрушает. Однако для генетических алгоритмов с малым размером популяции мутация просто необходима, поскольку им свойственна преждевременная сходимость (*premature convergence*). Это ситуация, когда в некоторых позициях все «потомки» имеют один и тот же элемент (бит), но набор этих элементов (битов) не соответствует глобальному экстремуму. При этом кроссинговер практически не изменяет популяции, так как все «потомки» почти одинаковы. В этом случае мутация способна инвертировать «застывший» бит у одного из «потомков» и вновь расширить пространство поиска.

Таким образом, процесс отбора, скрещивания и мутации приводит к формированию нового поколения (рис. 6).

Шаг алгоритма завершается объявлением нового поколения текущим и его проверкой на выполнение критерия оптимальности. Описанная выше последовательность будет повторяться до тех пор, пока на одном из потомков исходной популяции (программы капитального ремонта жилищного фонда) не будет достигнуто условие $\Sigma C^z = C$. 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

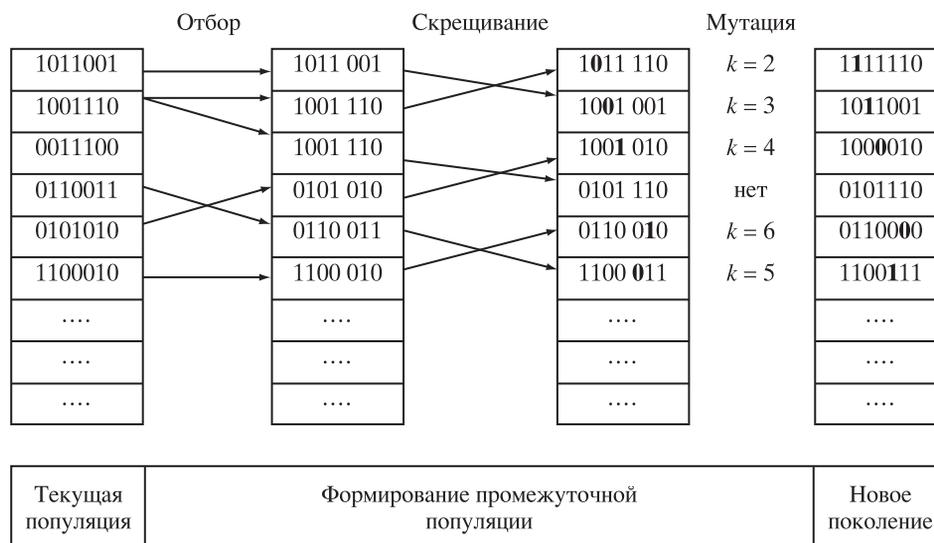


Рис. 6. Формирование нового поколения с использованием генетического алгоритма

новой расчетной вероятности воспроизведения и процесс повторяется, начиная с сопоставления вероятности воспроизведения.

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

Для применения генетических алгоритмов в реальных расчетах необходимо использовать стандартные пакеты прикладных программ (например программный пакет GeneHunter (НейроПроект, 2012)) или разрабатывать программное обеспечение применительно к реальной постановке задачи. Программный пакет GeneHunter позволяет использовать генетические алгоритмы для решения сложных комбинаторных и оптимизационных задач. Пакет GeneHunter является надстройкой Microsoft Excel, что дает возможность пользователю решать свои задачи непосредственно из рабочего листа, содержащего данные. Кроме того, в состав GeneHunter входит динамическая библиотека функций генетических алгоритмов, что позволяет создавать новые системы с использованием генетических алгоритмов.

Таким образом, применение генетических алгоритмов оправдано не только на этапе формирования программы капитального ремонта жилищного фонда, но и при ее непосредственной реализации, поскольку обеспечивает поиск наиболее эффективных вариантов ее реализации при изменении целевых объемов финансирования или значений ограничений по ресурсам.

Использование генетических алгоритмов предоставляет возможность не только находить решение оптимизационных задач большой размерности за достаточно короткое время и проводить сами расчеты при изменении значений исходных параметров на стадии формирования программ, но и учитывать различные модификации целевых значений расчетных показателей при соответствующих изменениях параметров ограничений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Еремеев А.В. (2008): Генетические алгоритмы и оптимизация. Омск: ОмГУ.
 Курейчик В.М., Родзин С.И. (2003): Эволюционные вычисления: генетическое и эволюционное программирование // *Новости искусственного интеллекта*. № 5. С. 13–20.
 Ларин С.Н., Евдокименко Н.Л. (2009): Проблемы финансового обеспечения капитального ремонта жилищного фонда // *Аудит и финансовый анализ*. № 5. С. 273–281.

- Ларин С.Н., Хрусталеv Е.Ю.** (2010): Разработка программ капитального ремонта жилищного фонда: новый подход // *Проблемы теории и практики управления*. № 7. С. 58–68.
- НейроПроект** (2012). Материалы официального сайта компании «НейроПроект» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.neuroproject.ru/soft.php>, свободный. Загл. с экрана. Яз. рус. (дата обращения: февраль 2012 г.).
- Райзберг Б.А., Лозовский Л.Ш., Стародубцева Е.Б.** (2005): Современный экономический словарь. М.: Инфра-М.
- Усимов А.В.** (2006): Становление и развитие сетевого планирования и управления // *Современное управление*. № 11. С. 95–100.
- Федеральная служба государственной статистики** (2012): Всероссийская перепись населения [Электронный ресурс] Данные официального сайта Федеральной службы государственной статистики. Режим доступа: <http://www.gks.ru>, свободный. Загл. с экрана. Яз. рус. (дата обращения: февраль 2012 г.).
- Федосеев В.В.** (2005): Экономико-математические методы и прикладные модели. М.: ЮНИТИ.
- Хрусталеv Е.Ю., Ларин С.Н.** (2011): Анализ методов сетевого планирования и управления для формирования программ воспроизводства жилищного фонда // *Экономический анализ: теория и практика*. № 23 (230). С. 59–71.
- De Jong K.** (1975): An Analysis of the Behavior of a Class of Genetic Adaptive Systems. Doctoral Thesis, Department of Computer and Communication Sciences. University of Michigan, Ann Arbor.
- Goldberg D.E.** (2002): The Design of Innovation: Lessons from and for Competent Genetic Algorithms. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Goldberg D.E., Deb K., Clark J.H.** (1992): Genetic Algorithms, Noise, and the Sizing of Populations // *Complex Systems*. № 6. P. 333–362.

Поступила в редакцию
23.06.2011 г.

Formation of New Tools and Optimization Program Reproduction Housing

S.N. Larin

In work the new decision of a problem of reproduction of available housing in the conditions of the limited financial resources and increase of degree of uncertainty of development and acceptance of administrative decisions in modern economy of Russia is offered. As the basic object of researches the toolkit of formation of programs of reproduction of available housing is chosen. Possibility and expediency of use of methodology of evolutionary calculations and a mathematical apparatus of genetic algorithms as new toolkit for formation and optimization of programs of reproduction of available housing are proved. The economic-mathematical model and algorithm of formation and optimization of such programs are developed.

Keywords: available housing, major repairs, methodology of network planning and management, methodology of evolutionary calculations, mathematical toolkit of genetic algorithms.