

А.В. Самков, В.И. Литвиненко, Ю.А. Захарченко

МЕТОДЫ МОДЕРНИЗАЦИИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Аннотация. В работе рассмотрено применение методов проведения модернизации авиационной техники в условиях неопределенности обеспечения проекта ресурсами. Разработана модель построения плана проекта модернизации авиационной техники. Рассмотренный в статье метод решения задачи управления проектами модернизации авиационной техники на основе иммунных алгоритмов показывает достижение необходимой достоверности результатов планирования проведения ее модернизации и обоснование практических рекомендаций в условиях неопределенности финансирования.

Ключевые слова: авиационная техника, авиационный комплекс, воздушное судно, иммунные алгоритмы, алгоритм клонального отбора, управление проектами.

В современных условиях модернизация авиационной техники (АТ) является одним из основных направлений технической политики большинства высокоразвитых государств мира. Ее актуальность, в первую очередь, связана с резким возрастанием стоимости новой АТ, мировым экономическим кризисом и непрерывным процессом старения авиационного парка. Под модернизацией АТ понимается обновление морально и физически устаревших ее образцов на основе замены конструкции, элементной базы, материалов и технологий изготовления с целью улучшения их характеристик и повышения эффективности применения.

Модернизация АТ позволяет, в отличие от закупки новых образцов АТ, привести устаревшую технику до уровня, удовлетворяющему современным требованиям, при затратах на порядок меньших. В связи с чем, модернизация АТ является приоритетным направлением для большинства стран мира, таких как США, Россия, Великобритания, Франция и др. Широкую известность в мире получили такие летательные аппараты (ЛА) военного назначения, как бомбардировщики В-52, Ту-95, истребители F-16, МиГ-21, МиГ-23 и др., которые в результате их модернизации длительное время находились на вооружении. Некоторые из них еще и сегодня находятся на вооружении

ряда государств и отвечают современным требованиям к АТ. Многие пассажирские и транспортные ЛА для удовлетворения все возрастающим требованиям ICAO также постоянно проходят модернизацию.

Так, например, один из крупнейших в мире транспортных ЛА – Ан-124 в результате модернизации значительно расширил свои функциональные возможности, выполнил требования ICAO по допустимому уровню шума на местности, точности самолетовождения и др. Взлетная масса и грузоподъемность его в варианте Ан-124-100М-150 повысилась до 402 т и 150 т соответственно, при этом значительно улучшились многие тактико-технические характеристики, в том числе и надежность, повысился уровень его безопасности. В соответствии с требованиями ICAO модернизированный Ан-124-100М-150 оснащен современными авиационными комплексами и системами, среди которых: система предупреждения столкновения ЛА в воздухе TCAS-2000, система зональной навигации BRNAV, система раннего предупреждения столкновения ЛА с землей TAWS (TTA-12) и др.

Необходимость проведения модернизации образцов АТ требует решения комплекса задач, связанных с обоснованием ее необходимости, определением оптимальных вариантов модернизации для авиационных комплексов (АК) в целом, и формированием оптимальных планов ее проведения.

Решения данного комплекса задач требует разработки методологических аспектов модернизации АТ и на их основе – создания комплексного методического обеспечения, от уровня которого зависит обоснованность принимаемых решений на модернизацию, а также уровни прироста эффективности и затрат на ее реализацию. Состав такого обеспечения должен включать комплекс методов, методик, алгоритмов, критериев. Его разработке посвящен ряд исследований, в результате которых получены научные и практические результаты [1...3]. Так, например, решены задачи по обоснованию целесообразности модернизации ЛА и АК, определению оптимальных вариантов модернизации на основе решения задачи синтеза вариантов модернизации, формированию оптимальных планов ее проведения и др. [2,3].

Вместе с тем, результаты проведения модернизации АТ и управления проектами модернизации напрямую связаны с недостатком различных видов ресурсов (в первую очередь, финансовых), неопреде-

ленностью их поступления, проблемами обеспечения совместимости отечественной технологической и элементной базы с зарубежной, необходимостью продолжения назначенных ресурсных показателей образцов АТ, отсутствием разработчиков и производителей АТ и др.

В связи с чем, вопросы учета условий недостаточности ресурсного обеспечения для программы модернизации авиационного парка и неопределенности его поступления являются, бесспорно, актуальными. Их актуальность требует решения соответствующего комплекса научных задач и создания методического обеспечения модернизации АТ.

Необходимость решения задач модернизации авиационного парка порождает научную задачу по разработке методов управления проектами модернизации парка АТ с учетом ограниченного ресурсного обеспечения в условиях неопределенности его поступления.

Математическая формализация задачи исследований проведена для заданной совокупности характеристик вариантов модернизации АК; объемов финансирования проекта модернизации, сроков поступления ресурсов и др. При этом в условиях принятия решений на реализацию проектов модернизации парка АК (с учетом выделенных объемов финансирования, заданной численности модернизируемых АК) задача реализуемости проектов модернизации имеет приоритет над задачей синтеза и может вносить в ее решение определенные коррективы (ограничения). Например, при недостаточности финансовых ресурсов на реализацию проекта модернизации АК возможно сокращение численности модернизируемых АК, а также выбор вариантов их модернизации с сокращенным (упрощенным) составом оборудования и др.

Задача распределения ресурсов при модернизации парка АК может решаться в различных условиях ее материального и финансового обеспечения. При этом возможны случаи достаточного и недостаточного обеспечения ресурсами, а также поступления этих ресурсов в условиях неопределенности. Важными результатами решения задач в таких условиях для этапа планирования является определение оптимальных вариантов модернизации АК, потребных временных сроков, объемов финансирования, производственных ресурсов, а также основных показателей проекта модернизации парка АК.

Задача управления проектами модернизации и формирование оптимальных (рациональных) планов ее проведения является одной из важных задач модернизации АТ. От результатов ее решения зависят показатели эффективности проекта и затраты на ее проведение [2]. Решение данной задачи представляет определенную сложность, связанную с наличием факторов неопределенности при обеспечении выполнения проекта модернизации с широкой номенклатурой ресурсов, и отсутствием достаточно эффективного математического аппарата. Отмеченное выше и обуславливает необходимость разработки соответствующего методического аппарата, позволяющего осуществлять поддержку принятия решений в условиях неопределенности обеспечения различными типами ресурсов при модернизации АТ.

Результатом решения данной задачи является оптимальное (рациональное) распределение ресурсов между работами и исполнителями при планировании и управлении проектами модернизации АТ. Такой план в условиях неопределенности позволит своевременно и в полном объеме обеспечить потребности проекта и удовлетворять требованиям критерия «*эффективность – стоимость*».

С этой целью в процессе исследований разработан метод и модели решения задачи управления проектами модернизации АТ на основе современного методического аппарата – иммунных алгоритмов [2,3], как эффективного средства управления проектами. Применение данного метода позволило снизить ошибки при планировании модернизации АТ и повысить обоснованность практических рекомендаций в условиях неопределенности обеспечения ресурсами. В качестве факторов, которые имеют неопределенность, рассматриваются объемы и сроки поставки ресурсов (например, финансовых).

В связи с наличием неопределенностей в задаче управления проектами модернизации АК рассмотрена стохастическая постановка научной задачи исследований. Она состоит в нахождении для определенного типа АК такого i -го оптимального варианта модернизации, который обеспечивает максимум математического ожидания целевой функции повышения коэффициента потенциальных возможностей парка АК после модернизации [2] при наличии неопределенности в объемах и сроках финансирования с учетом ограничений на заданные сроки и бюджет модернизации.

Для обеспечения процесса модернизации существует широкая

номенклатура ресурсов и работ, которая определяется объемами финансирования, типами и вариантами модернизации АК. Основными типами ресурсов при этом являются: запасные части, расходные материалы, человеческие, финансовые и временные ресурсы. Очевидно, что изменение некоторого ресурса, или задержка работ приводят к отклонению от плана и роста затрат на проведение модернизации [2].

План модернизации парка АК в общем виде определяется множеством характеристик (1):

$$Pl(x, u, \xi), \quad (1)$$

где $\{x\}$ – определенные характеристики, которые состоят из конечных элементарных множеств и характеризуются вектором параметров:

– $\{A\} \neq \emptyset$ – множество μ -х типов АК, которые подлежат модернизации;

– $\{B\} \neq \emptyset$ – множество характеристик j -х вариантов модернизации μ -х типов АК;

– $\{D\} \neq \emptyset$ – множество характеристик производственных мощностей предприятия, на которых планируется проведение модернизации;

– $\{E\} \neq \emptyset$ – множество характеристик плана модернизации;

$\{u\}$ – закон распределения финансовых ресурсов $u(t)$;

$\{\xi\}$ – характеристики неопределенности модернизации.

Задача сводится к нахождению такого плана $Pl(x, u, \xi)$ оптимального распределения ресурсов $u = \varphi(u_1, u_2, \dots, u_j)$, $u_{opt} \in u$ за μ типами АК с учетом всех вариантов модернизации, который бы обеспечивал максимальный прирост потенциальных возможностей всего парка АК и удовлетворял ограничениям (2):

$$\begin{cases} \sum_{\mu=1}^M s_{\mu} \leq S_{\zeta\grave{a}\grave{a}} \\ T_{\grave{a}\grave{a}\grave{a}} \leq T_{\zeta\grave{a}\grave{a}} \end{cases}, \quad (2)$$

где s_{μ} – объем финансовых ресурсов, выделенных на модернизацию μ -го типа АК; $S_{\zeta\grave{a}\grave{a}}$ – объем финансовых ресурсов, выделенных на программу модернизации;

$T_{общ}$, $T_{зад}$ – сроки проведения модернизации парка АК (общий и предусмотренный программой модернизации, соответственно).

Процесс формирования плана модернизации парка АК можно формализовать по следующей схеме (где M – типы АК, V_{ij} – варианты модернизации определенного типа АК), которая описывает поступление финансовых ресурсов (объемы и сроки), их оценку достаточности, процедуру распределения, оценку результатов выполнения плана модернизации, анализ отклонения от плана и внесения корректив (рис.1). В конечном результате формируется оптимальный (рациональный) план проведения модернизации парка АК.

Одной из основных задач планирования при модернизации АК является распределение ресурсов между мощностями предприятий, на которых будет проходить модернизация. Результатом планирования является календарный план модернизации АК в виде диаграммы Ганта.

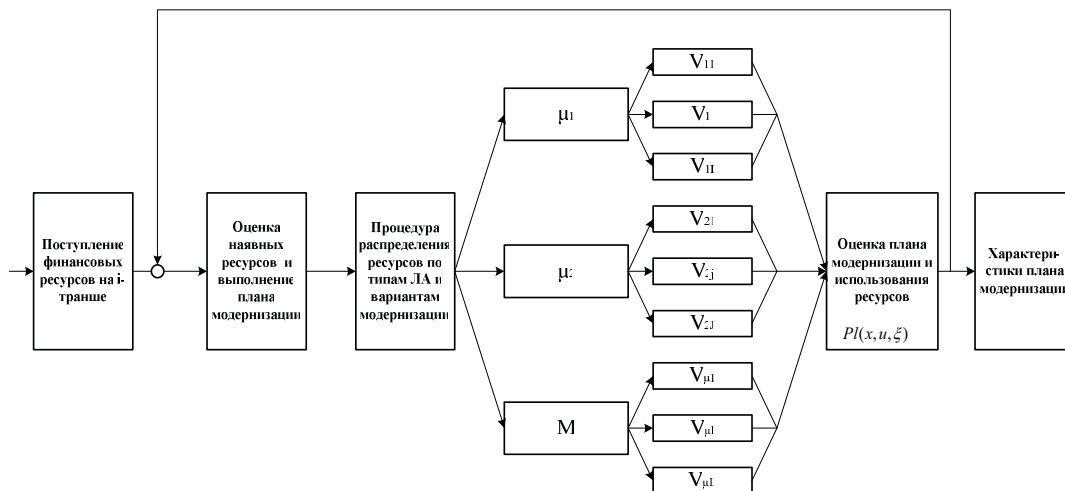


Рисунок 1 – Схема управления формированием плана модернизацией парка АТ

С учетом того, что задача составления расписания и оптимизации при управлении проектами является NP -сложной задачей дискретной оптимизации, для ее решения предложен эвристический метод на базе клонального иммунного алгоритма [4,5].

Для построения клонального иммунного алгоритма необходимо определить: образ представления решения задачи в виде антител (ин-

дивидуумов), функцию афинности и процедуру репродукции, которая включает операторы отбора, клонирования и мутации антител [6,7].

Одним из наиболее удобных представлений решения рассмотренной задачи есть трехмерная матрица, осями которой соответственно являются: типы АК, распределенные относительно производственных мощностей для выполнения модернизации; варианты модернизации каждого типа АК; работы по выполнению процесса модернизации.

Для реализации алгоритма клонального отбора и решения задач разработки плана модернизации весь перечень работ по модернизации АК и их ресурсные ограничения формализованы в виде антител. Такой вид формализации представляет собой последовательность плана работ с указанием выполнения или невыполнения определенных работ на данном этапе проведения модернизации.

На основе оценки перечней работ методом неполного перебора формируется результирующий календарный план проекта. Важным условием такой формализации является выполнение требования об обеспечении уникальности всех генов антитела, то есть включение в расписание каждой работы или ресурса только один раз и при этом должны быть выполнены все этапы проекта модернизации АК.

Антиген представлен как целочисленная строка, где ячейки – перечень работ для планирования на объекте, и каждый элемент строки отвечает идентично заданной работе для планирования [8,9].

Основными этапами алгоритма клонального отбора являются:

1. Создание начального пула (m) антител (вариантов решений);
2. Вычисление меры близости каждого антитела;
3. Выбор n лучших (наиболее приспособленных) индивидуумов из m оригинальных антител ($n < m$) на основе их меры близости.
4. Размещение каждого из n избранных индивидуумов в n отдельных пулов, которые будут называться элитными пулами.
5. Проведение гипермутации для каждого клона во всех пулах.
6. Определение наиболее приспособленных антител среди мутированных для формирования следующих элитных пулов;
7. Внесение k случайных антител в каждый пул для устранения попадания в локальный оптимум поиска;

8. Определение достижения условия окончания формирования расписаний. Если условие окончания не достигнуто, переходим к этапу 4 [10].

Однако, применение данного алгоритма не учитывает факторы риска, неточности исходных данных и др., что позволяет лишь частично решать проблемы неопределенности при управлении проектами модернизации АТ. В связи с чем, для решения поставленной задачи предложено дополнительно применить аппарат на основе байесовских сетей доверия (БСД) [6,7,12], а также – разработать гибридный подход, основанный на объединении байесовских сетей и искусственных иммунных систем, в котором последние играют роль эффективного вычислительного средства для решения переборных задач.

БСД являются одним из наиболее широко распространенных методов представления знаний с неопределенностью [12, 13]. В общем виде БСД это направленный граф, не содержащий направленных циклов и состоящий из узлов и дуг. Узлы представляют собой случайные переменные, которые могут быть дискретными или непрерывными. Дуги представляют собой причинно-следственные связи между переменными, благодаря чему БСД еще иногда называют причинно-следственными сетями.

Основное назначение БСД – получение информации о недоступных для наблюдения переменных посредством информации, входящей в наблюдаемые переменные и связей между ними.

Вероятностные распределения для всех переменных сети при управлении проектами модернизации АТ можно определить на основе применения теоремы Байеса и двух правил исчисления вероятностей. Основными преимуществами использования БСД по сравнению с обычными математическими моделями являются: интуитивно понятное и обоснованное представление взаимосвязей аргументов; возможность существования переменной, как в виде аргумента, так и в виде искомого объекта в рамках одной структуры; возможность распространения информации в обоих направлениях байесовской сети [12, 13].

Пример байесовской сети для фрагмента календарного плана выполнения работ при модернизации АТ представлен на рис.2.

Вычисление маргинальных вероятностей вершин, соответствующих завершающим этапам различных вариантов плана модерни-

зации, производится на основе методики прямого распространения информации в байесовской сети[13]:

$$p^o(v | \Pi^o, \lambda), \quad (3)$$

где p^o – условная вероятность наступления события v , а именно завершения текущего этапа при известных исходах родительских этапов Π^o по отношению к данному и известной информации о текущем этапе.

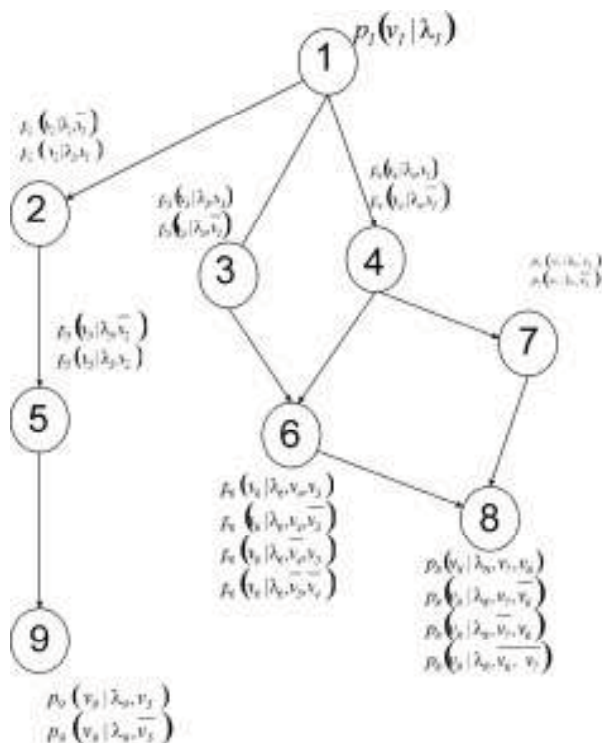


Рисунок 2 – Байесовская сеть прогнозирования реализуемости плана модернизации АТ

Например, для варианта плана (рис.2) такая вероятность будет вычисляться на основе выражения:

$$p(v_9) = \sum_{v_5} \left(p_9(v_9 | \lambda_9, v_5) \cdot \sum_{v_2} \left(p_5(v_5 | \lambda_5, v_2) \cdot \sum_{v_1} p_2(v_2 | \lambda_2, v_1) \cdot p_1(v_1 | \lambda_1) \right) \right) \quad (4)$$

На следующем шаге алгоритма проводится проверка на удовлетворение плана модернизации АТ (1) ограничениям (2) – объему финансовых ресурсов, выделенных на программу модернизации; и сроку реализации всей программы модернизации $T_{общ} \leq T_{зад}$. При этом составляется расписание загрузки производственных мощностей модерни-

зируемых ЛА и решается задача оптимизации. Такое расписание должно удовлетворять следующим условиям:

- пиковая загрузка производственных мощностей при одновременной модернизации нескольких ЛА не должна превышать имеющихся резервов;
- затраты на финансирование модернизируемых ЛА на протяжении всего допустимого срока должны распределяться таким образом, чтобы не превышать выделяемые на данный момент времени объемы финансовых средств.

Порядок финансирования проекта модернизации АК может быть представлен в виде функции распределения финансовых поступлений во времени $C(t)$, а общий объем производственных мощностей j -го типа – как R_j . На основе оптимизации полученных планов находим такое взаимное расположение диапазонов t_i , которое будет обеспечивать удовлетворение приведенных выше условий при минимизации общего срока реализации программы $T_{\text{общ}}$ с учетом ограничения $T_{\text{общ}} \leq T_{\text{зад}}$.

Применение аппарата на основе БСД позволило разработать модель модернизации парка АК с учетом неопределенностей, в которой на вход подаются данные про ресурсы модернизации и проводится оценка потребностей в этих ресурсах.

На следующем этапе на основе иммунных алгоритмов решается задача оптимального распределения ресурсов для выполнения модернизации АК, формируется набор календарных планов и из этого набора выбирается наилучший.

Таким образом, на основе формализации и решения задачи исследования, разработаны: концептуальный подход к решению задач модернизации АТ и структурно-функциональная модель решения задачи управления проектами модернизации АТ на основе алгоритмов искусственных иммунных сетей и байесовских сетей доверия (рис. 3). Применение предложенной модели позволяет получить календарный план выполнения модернизации парка АК с учетом всех указанных условий и ограничений.

На рис. 4 в зависимости от шага итерации модифицированного иммунного алгоритма (ось X) и времени, за которое достигается оптимальное решение для задачи планирования (ось Y), приведена ско-

рость сходимости алгоритма в зависимости от размера начальной популяции. Из анализа графиков следует, что самая быстрая сходимость получается при размере популяции больше чем 100 особей. Нахождение наиболее оптимального варианта расписания по времени также отвечает начальным популяциям, которые включают 100 и больше антител.

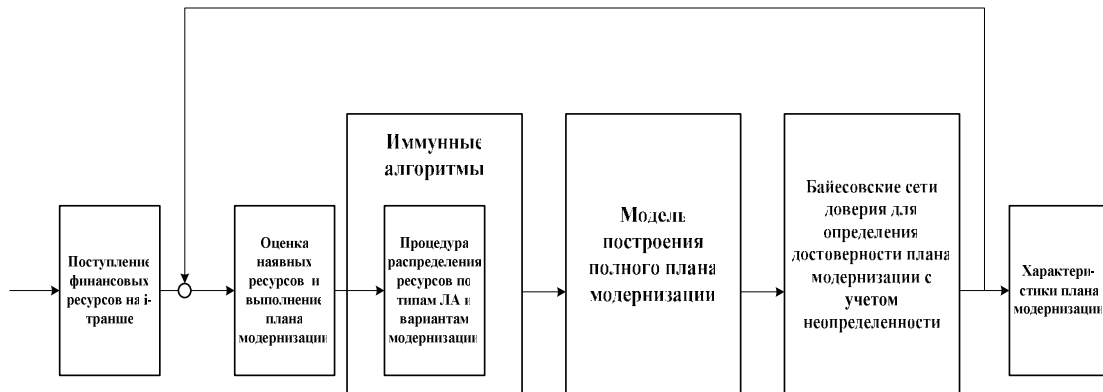


Рисунок 3 – Структурно-функциональная модель формирования планов модернизации АК

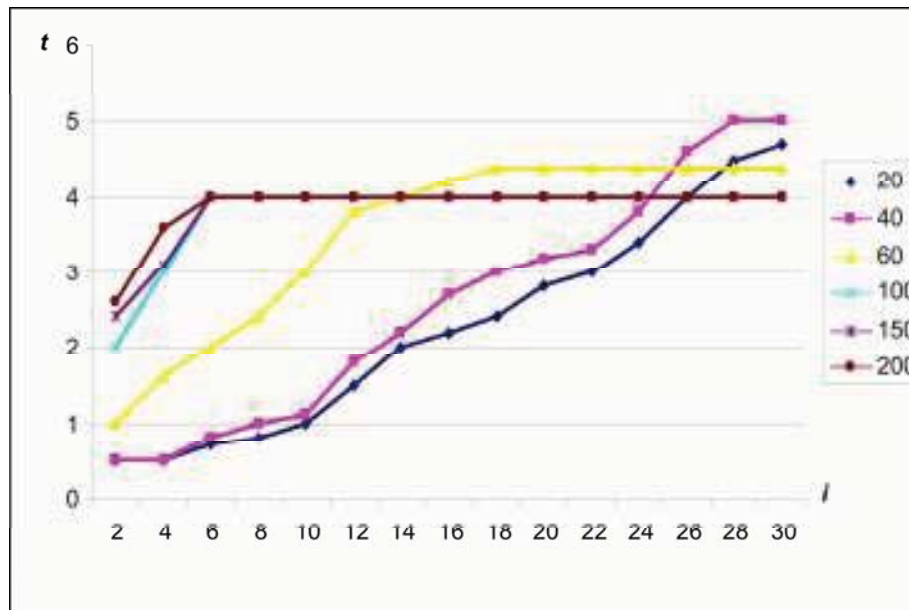


Рисунок 4 – Скорость сходимости алгоритма в зависимости от размера начальной популяции

Для сравнительной оценки разных алгоритмов при решении задачи планирования модернизации АК проведена их оценка на скорость сходимости. Сравнивались три алгоритма: простой иммунный алгоритм клонального отбора, генетический алгоритм и модифициро-

ванный иммунный алгоритм для решения задачи календарного планирования процесса модернизации АК.

Из анализа полученных результатов (рис. 5) следует, что наиболее высокую скорость сходимости показывают иммунный алгоритм и модифицированный иммунный алгоритм.

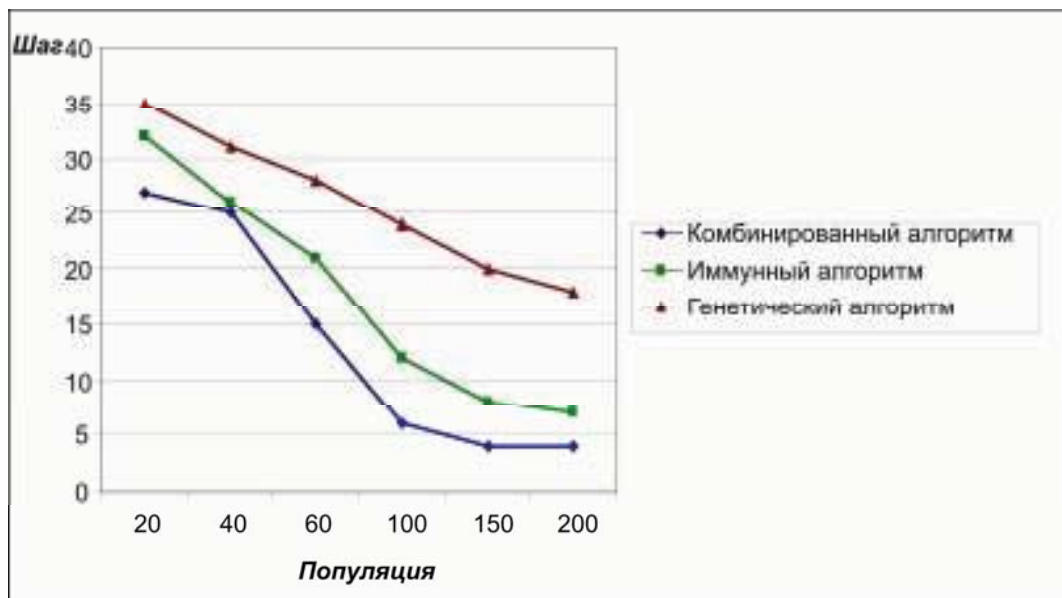


Рисунок 5 – Скорость сходимости разных алгоритмов

Таким образом, в результате проведенных исследований разработана модель построения планов модернизации АК и предложены методы решения задачи на основе комбинированного использования алгоритмов искусственных иммунных систем и байесовских сетей доверия. Их применение позволяет решать задачу управления проектами модернизации в условиях неопределенности поступления ресурсов.

Применение данного методического подхода на практике позволяет поднять достоверность результатов планирования при обосновании планов модернизации в условиях неопределенности поступления ресурсов и минимизировать необоснованные затраты ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Самков О.В. Методичні складові щодо вирішення задач модернізації парку авіаційної техніки в сучасних умовах//Вісник НАУ.– 2008.– №1.– С.22–25.
2. Самков О.В., Литвиненко В.І., Ломавацький І.Є., Захарченко Ю. А. Оптимізація розподілу фінансів між проектами на основі клонального імунного алгоритму// Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту: Матеріали науково

- практичної конференції. – Євпаторія: ХНТУ.– 2008. – Т. 3. – С.182–189.
3. Ю.А. Захарченко, С.Ю. Качур, О.В. Корнієнко та ін. Методика вирішення завдань управління проектами модернізації авіаційної техніки// Вестник Херсонского національного технического университета, №1(34), 2009. С.
 4. Mori K., Tsukiya M., Fukuda T. Immune algorithm and its application to factory load dispatching planning// 1993 JAPAN – USA Symp. On flexible Automation, 1994. P. 1343–1346.
 5. Wu A.S., Yu H, Jin S., Lin K.-C., and. Schiavone G. An incremental genetic algorithm approach to multiprocessor scheduling. IEEE Trans. on Parallel and Distributed Systems, 15(9): P. 824–834, 2004.
 6. Doyen A., Engin O., Ozkan C., “A New Artificial Immune System Approach to Solve Permutation Flow Shop Scheduling Problems”, Turkish Symposium on Artificial Immune Systems and Neural Networks TAINN’03, 2003.
 7. Kacem I., Hammadi S. and Borne P., “Pareto-optimality Approach for Flexible Job-Shop Scheduling Problems: Hybridization of Evolutionary Algorithms and Fuzzy Logic”, Mathematics and Computer in Simulation, vol. 60, P. 245–276, 2002.
 8. de Castro Leonardo N and Timmis Jonathan. Artificial Immune Systems: A new computational intelligence approach. – Great Britain, 2002. – 357 p.
 9. Hart E. and Ross P.. An immune system approach to scheduling in changing environments. In GECCO-99: Proceedings of the Genetic and Evol. Comp. Conference. Morgan Kaufmann.
 10. Ong Z.X., Tay J.C., Kwoh C.K. Applying the clonal selection principle to find flexible job-shop schedules // Artificial Immune Systems 4th International Conference, ICARIS 2005 Banff, Alberta, Canada, August 14-17, 2005 Proceedings, P. 442–455.
 11. Chen J., Mahfouf M. A population adaptive based immune algorithm for solving multi-objective optimization problems // Artificial Immune Systems 5th International Conference, ICARIS 2005 Banff, Alberta, Canada, August 14-17, 2006 Proceedings, P. 280–293.
 12. Heckerman D. A tutorial on learning with Bayesian Networks. _ Microsoft Tech. Rep. MSR-TR-95-6, 1995.
 13. Jensen F. V. Bayesian networks basics. Tech. Rep. Aalborg University, Denmark, 1996.