(2012). On a general formula of fourth order Runge-Kutta method// Journal of Mathematical Science & Mathematics Education, V. **7,** No 2, 1–10.**9**. *Dennis, J, R., Schnabel, R. B*. (1988). Numerical Methods for Unconstrained Optimization and Nonlinear Equations. Moscow: Mir, 440.**10**. *Vasil'yev F. P*. (1988). Numerical methods for extremal problems Moscow: Nauka, 552.

Надійшла (received) 27.04.2015

УДК 517.534

А. А. ЧИСТЯКОВА, аспирант, ХНУРЭ, Харьков;
Н. В. ВАСИЛЬЦОВА, канд. техн. наук, доц., ХНУРЭ, Харьков

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАТРАТ ВРЕМЕНИ НА ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ РАБОЧЕЙ СИЛОЙ

Проведены исследования проблемы прогнозирования затрат времени на выполнение работ в системах управления рабочей силой. Предложен метод прогнозирования с использованием сингулярного разложения и представления временного ряда в нескольких фазовых пространствах, который позволяет оценить затраты времени на выполнение работ в будущем, их количество и число исполнителей данных работ.

Ключевые слова: прогнозирование, системы управления рабочей силой, временной ряд, сингулярное разложение.

Введение. На сегодняшний день существует множество сфер бизнеса, которые поставляют конечному пользователю не только готовый продукт или сервис, но и берут на себя обязательства гарантийного, постгарантийного обслуживания. К данной категории организаций могут быть отнесены компании, выполняющие работы, связанные с ремонтом и обслуживанием различного оборудования, вычислительной и бытовой техники. Специфика работ, проводимых такими компаниями, связана с тем, что процессы первичного осмотра, конфигурирования, ремонта оборудования чаще всего проводятся на объектах клиентов, которые могут располагаться в различных территориальных зонах. Это накладывает жесткие ограничения на время и качество выполнения операций обслуживания клиентов персоналом компании, требует точного планирования затрат времени на выполнение работ, и, следовательно, минимизации возможных непроизводительных затрат на обслуживание клиентов.

Обычно процессы «обслуживания на местах», которые в дальнейшем будем называть «работы», характеризуются своими параметрами, то есть требуют определенного оборудования, количества исполнителей, заданной квалификации персонала, набора навыков исполнителя. В свою очередь персонал компании (для данных сотрудников применяют термин «техник») характеризуется следующими особенностями: набором навыков, которыми обладает данный техник; географической зоной, ограничивающей перемещение техника; стоимостью часа работы техника, его квалификацией и т.д.

Эффективное выполнение сервисных работ с одновременным снижением суммарных затрат на их выполнение является достаточно сложной задачей. В случае, если клиенты не получают качественного обслуживания, то снижается не только степень их удовлетворенности, но и доходы компании в целом.

© А. А. ЧИСТЯКОВА Н. В. ВАСИЛЬЦОВА, 2015

В настоящее время в условиях высокой конкуренции все большую популярность приобретают комплексные автоматизированные решения для планового сервиса и облуживания на местах (Field Service Management), которые позволяют автоматизировать составление графиков планового обслуживания и выполнение заказов клиентов. Данные решения необходимы для комплексной оценки каждого отдельного заказа и связи процессов обслуживания с необходимыми ресурсами, включая технических специалистов, оборудование, запчасти и местоположение складских помещений. Если выполнение заказа запланировано в соответствии с соглашением об уровне сервиса и определенном временном интервале, работа назначена соответствующему технику-исполнителю и доступно необходимое оборудование и запчасти для работы, то повышается как процент устранения неисправностей, так и производительность технических специалистов. С другой стороны, если заказы клиентов выполняются экономично и в срок, то повышается не только ценность услуг для клиентов, но и финансовые показатели всех операций по предоставлению данных услуг, а, следовательно, и доход компании. Прибыль компаний также зависит от количества выполненных заказов, которое должно быть максимизировано. Непроизводительные издержки, которые оказывают влияние на оплату труда техников, должны быть по возможности минимизированы.

Данная проблема является достаточно актуальной в настоящее время, когда количество заказов и нормы затрат времени на их выполнение меняются достаточно динамично. Это требует гибкого управления трудовыми ресурсами, использования новых методов анализа и прогнозирования необходимых и достаточных ресурсов предприятий.

Цель работы. Целью работы является прогноз величины затрат времени на выполнение определенного типа работ при отсутствии дополнительной информации о количестве заказов в системах управления рабочей силой.

Методика экспериментов. Постановка задачи. В данной работе основное внимание уделяется проблемам прогнозирования затрат времени на выполнение сервисных работ, что позволяет регулировать численность сотрудников (техников), выполняющих работы, а также набор таких навыков техников, которые потребуются для выполнения заказов. Данная задача становится все более актуальной в настоящее время для компаний, выполняющих обслуживание заказов на местах, так как затраты при наличии простоев техников, вызванных отсутствием условий организационного и технического характера по вине компании, или ситуаций, когда не выполнены все заказы, достаточно велики.

На сегодняшний день решение задачи прогнозирования затрат времени на выполнение сервисных работ существующими классическими методами не даёт точных и адекватных результатов, что не позволяет использовать их в современных системах управления трудовыми ресурсами и рабочим временем (Workforce Management (WFM) системах) [1, 2].

Ставится задача оценки величины затрат времени T_p на выполнение определенного типа работ в будущем через время p (где p – период прогнозирования). На основании T_p предлагается определить количество данных работ K_j, а, следовательно, число техников с соответствующими навыками $K_{w.}$, которые необходимы для выполнения этих работ K_j.

Расчет количества работ K_j, заказы на которые поступят в прогнозируемый

период p, предлагается провести на основании прогнозируемых данных о затратах времени на выполнение работ T_p и среднего статистического значения времени выполнения одной работы заданного вида T_{av}

$$K_j = T_p / T_{av}, \quad (1)$$

где K_j – количество работ, заказы на которые поступят в прогнозируемый период p; T_p – прогноз затрат времени на выполнение работ заданного вида (измеряется в минутах); T_{av} – среднее время выполнения определенного вида работ (измеряется в минутах).

Количество техников K_w, необходимых для выполнения работ K_j, предлагается рассчитывать как

$$K_w = K_j / K_{j/d}, \quad (2)$$

где $K_{j/d}$ – количество работ, которые могут быть выполнены одним исполнителем в день.

Величина $K_{j/d}$ рассчитывается на основании средних данных затрат времени на выполнение работ с учетом времени в пути и возможности назначения работы технику в соответствии с его рабочим графиком

$$K_{j/d} = T_w / (T_{av} + T_{tr}), \quad (3)$$

где T_w – норма продолжительности рабочего времени техника в день (измеряется в минутах); T_{av} – среднее время выполнения определенного вида работ (измеряется в минутах); T_{tr} – среднее время поездки в рамках географической локации (измеряется в минутах).

Оценка величины T_p позволяет принимать решения о найме новых техников и/или переквалификации имеющихся работников.

Решение данной задачи обеспечивает соответствие количества техников и их квалификации тем заказам, которые поступят в прогнозируемый период, что дает возможность эффективно решить задачу назначения работ техникам-исполнителям и своевременного их выполнения.

Назначение Workforce Management систем. На сегодняшний день выделяется отдельный класс автоматизированных систем, которые получили название «Системы управления рабочей силой» (в английском варианте Workforce Management (WFM)-системы), реализующие методологию планирования рабочего времени сотрудников компании, которая является составляющей концепции управления персоналом (HRM) [3].

В контексте информационных технологий WFM-системы является решением для автоматизации процесса управления рабочим временем персонала. Базовый функционал WFM системы, используемой в рамках рассматриваемого класса компаний, включает следующие задачи:

- автоматический подбор исполнителей для выполнения работ на основе набора навыков техников;
- формирование оптимальных графиков работ (с учетом сроков, приоритетов, связей между типами работ и расстоянием между географическими адресами их выполнения), оптимизация задач в режиме онлайн, в случае необходимости назначения приоритетных задач или перераспределения расписаний в связи с больничным/отгулом сотрудников;
- наглядное управление техниками и графиками их работ (диаграммы Ганта);
- отслеживание сроков исполнения заказов;

– построение планируемых маршрутов между географическими адресами выполнения заказов на карте;

– отчетность по задачам и оценка производительности персонала;

– учет инструментов, необходимых для выполнения заказов, и их бронирование для выполнения работ;

– унификация процесса обработки заказов;

– централизация данных о структуре и характеристиках персонала.

При условии, если количество техников компании меньше 50, а география обслуживания ограничивается одним городом, назначение работ можно производить в ручном режиме.

Однако и в этом случае есть риск получения неоптимального результата:

– один техник-исполнитель выполняет большое количество работ, в том числе и в сверхурочное время, а другой – малое количество работ;

– в маршруте присутствуют поездки, длительные по времени;

– не учтены все пожелания клиентов и т.д.

С ростом размера компании данные риски возрастают, что приводит к неэффективному использованию трудовых ресурсов.

Задача WFM-системы сводится к наиболее эффективному использованию трудовых ресурсов компании при условии выполнения всех заказов и с учетом всех ограничений, накладываемых соответствием параметров заказов и исполнителей. Так, основной задачей WFM-систем является назначение работ исполнителям с учетом всех параметров и характеристик, как работ, так и техников-исполнителей. Анализ показал, что данная задача является достаточно сложной. Однако существуют подходы и методы ее решения, среди которых сети Петри, теория ограничений, эвристические методы, Q-маршрутизация с использованием обучения с подкреплением и др. [4, 5].

Анализ данных подходов показал, что одним из рациональных решений задачи поиска оптимального варианта назначения работ является метод с использованием генетического алгоритма [6, 7, 8].

В ходе анализа было установлено, что информация о техниках и работах в WFM-системе формально может быть представлена в виде сущностей с множествами характеристик, которые используются для решения задачи назначения работ исполнителям при условии соблюдения всех требований к выполнению заказов. Работы, которыми становятся заказы, зарегистрированные в системе, также имеют свои характеристики, которые представим в виде множества

$$J=\{jz, Sj, d, sw, EG, p\} \quad (4)$$

где J – множество характеристик работы; jz – географический адрес работы; Sj – множество навыков исполнителей, которые потребуются для выполнения работы; d – дата начала работы; sw – запланированный период времени выполнения работы техником-исполнителем (например, 10.00-13.00) ; EG – множество оборудования, запчастей необходимых для выполнения работы; p – стоимость работы.

Техник-исполнитель в WFM-системе представлен множеством следующих характеристик

$$W=\{q, SW, WZ, wt, pph\} \quad (5)$$

где W – множество характеристик техника; q – уровень квалификации (например,

слесарь-электрик 2-го разряда); *SW* – множество навыков техника; *WZ* – географическая локация, а именно, множество адресов данной локации (например, Дзержинский район г. Харькова); *wt* – график работы техника (например, пн.-пт. с 8.00 до 17.00); *pph* – стоимость часа работы техника.

Анализ данных множеств показал, что между их компонентами присутствуют следующие отношения:

$$jz \in WZ \tag{6}$$

$$Sj \subseteq SW \tag{7}$$

$$\{d, SW\} \subseteq wt. \tag{8}$$

Оптимальным решением задачи назначения работ является такое решения, в рамках которого время поездок и время выполнения работ минимизировано при условии выполнения максимального количества заказов. При решении задачи используются статистические данные выполненных работ, поездок, а также дополнительная информация.

Диаграмма прецедентов, описывающая функциональное назначение WFM системы, представлена на рис. 1.

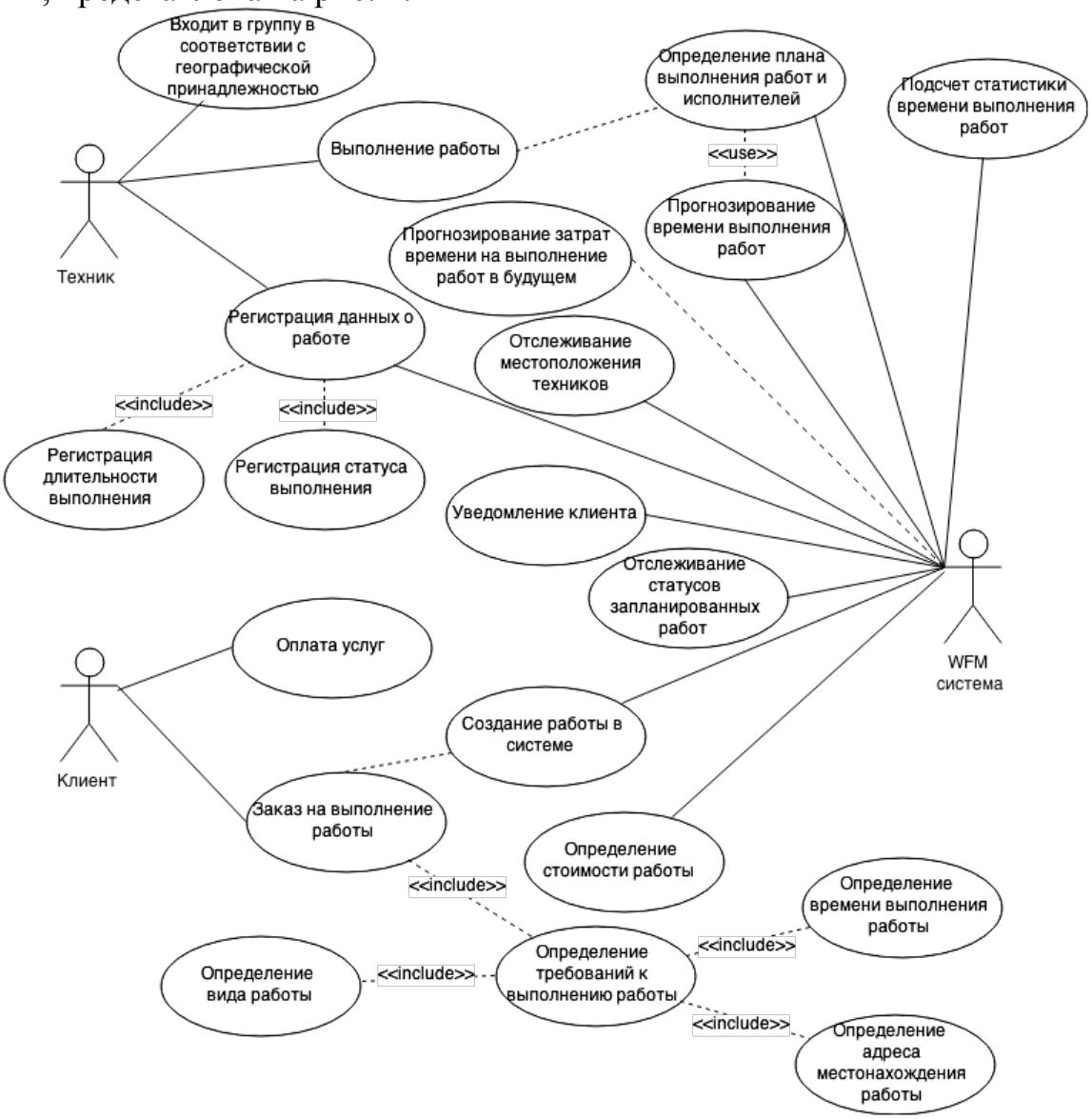

Рис. 1 – Диаграмма прецедентов WFM системы

Использование WFM систем дает возможность достичь следующих целей:

– сокращение излишней рабочей силы, что достигается путем точного планирования времени работы техников на основе статистического анализа и оценки ожидаемого времени работы;

– оптимизация количества сотрудников с необходимыми навыками (распределение нагрузки оптимизирует укомплектованность штата в течение дня и недели для соответствия потребностям компании, а также дает возможность подключать к работе соответствующих специалистов);

– эффективное использование трудовых ресурсов в виду полной занятости (распределение рабочей нагрузки обеспечивает усовершенствованную оценку времени работы и более точное планирование, что позволяет оптимально формировать численность сотрудников по дням и неделям);

– строгое соблюдение рабочего расписания сотрудниками (WFM-система позволяет отслеживать информацию о текущем местонахождении техника и статусы выполнения заказов, соблюдение им графика назначенных работ);

– снижение сверхурочных расходов (оценка времени выполнения работ и составление расписания для каждого техника позволяют контролировать объем сверхурочной работы в реальном времени).

Для решения задачи назначения работ (выполнения всех заказов) с целью максимизации прибыли компании и минимизации издержек, что достигается путем эффективного использования рабочего времени и трудовых ресурсов, используются статистические данные, которые хранятся в базе данных WFM-системы. На основании зарегистрированных данных рассчитывается средняя длительность выполнения работ как всеми техниками, так и каждым исполнителем отдельно. При этом среднее статистическое значение затрат времени для отдельного техника может отличаться от среднего значения по компании, что также следует учитывать при решении задачи назначения работ исполнителям. Так, например, с использованием генетических алгоритмов работы могут быть назначены тем техникам-исполнителям, которые выполняют их в кратчайший срок, за наименьшую плату с учетом стоимости часа работы и при условии географического соответствия адреса заказа и местонахождения исполнителя. Это всего лишь небольшое количество очевидных ограничений, которые необходимо учесть при решении данной задачи. Сложность решения данной задачи зависит от размера компании, количества техников и работ.

Автоматизированное решение данной задачи с использованием генетического алгоритма, которое на сегодняшний день внедрено в WFM-системы, позволяет учесть некоторые особенности работ и статистических характеристик их выполнения для достижения оптимального результата и построения графиков и маршрутов выполнения заказов [9, 10, 11, 12].

Решение задачи прогнозирования затрат времени на выполнение работ. В настоящее время задача прогнозирования затрат времени на выполнение работ, зарегистрированных в системе, решается с использованием временных рядов, для которых рассчитываются два показателя:

– T_t, т.е. средний темп прироста временного ряда, отражающего зарегистрированное время на выполнение работ;

– ожидаемая естественная периодичность изменения показателя T_p, а именно недельные, месячные, годовые циклы, и соответствующие рассчитанные коэффициенты данной периодичности.

Модель прогнозирования, построенная с использованием данных показателей, дает возможность получить адекватный прогноз в случае, если реальные данные соответствуют заданной структуре временного ряда, а именно присутствует линейный тренд и заданные периодики. Однако, в виду множества динамических факторов, влияющих на временные затраты по определенным видам работ, в соответствии с неявными зависимостями, которые порождают неоднородность, данная модель не дает удовлетворительных результатов прогноза.

В работе для достижения качественного результата прогнозирования затрат времени на выполнение работ предлагается использовать метод прогнозирования неоднородных временных рядов с использованием сингулярного разложения и представления временного ряда в нескольких фазовых пространствах, который подробно описан в работах [13, 14, 15, 16, 17]. Применение данного метода позволяет повысить точность прогноза и сохранить динамику исходного временного ряда данных затрат времени на выполнение работ, построенного на основании зарегистрированной информации.

Проведенный анализ временных рядов данных, отражающих время выполнения работ, зарегистрированных в WFM-системе, показал, что данные ряды динамики характеризуются существенной неоднородностью. Следовательно, применение методов, которые требуют стационарности исходных данных, не дает адекватных результатов. На примере неоднородного временного ряда затрат времени на выполнение работы «Инсталляция» построен прогноз на 45 дней и проведена оценка доверительного интервала результата прогнозирования. Результаты прогнозирования представлены на рис. 2.

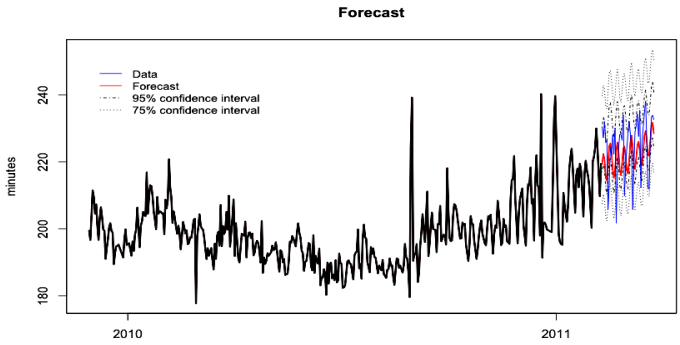

Рис. 2 – Временная зависимость данных затрат рабочего времени на работу «Инсталляция», представленных неоднородным рядом динамики с построенным 75 % и 95 % доверительным интервалом

Оценка отклонений результатов прогнозирования позволяет проводить расчет количества необходимых техников с учетом того, что реальное время выполнения работ может отличаться от среднего значения, зарегистрированного по компании. Это позволяет оценить риск привлечения (найма) новых техников.

Разработка модели прогнозирования неоднородных временных рядов с использованием сингулярного разложения и представления данных ряда динамики в нескольких фазовых пространствах позволяет оценить затраты времени на выполнение определенных видов работ в будущем. Использованный метод не накладывает ограничения на входные данные и не требует задания модели ряда, что позволяет использовать данный метод для прогнозирования различных видов работ, динамика которых изменяется во времени, а характер изменения неявный.

Построенная модель прогнозирования для временного ряда затрат времени на выполнение работы «Инсталляция» имеет следующий вид:

$$T_{N+1} = 0.1010378 \times \sum_{j=1}^{20} T_{400+j-20} \times lrr_{1_j} + 0.09796281 \times \sum_{j=1}^{46} T_{400+j-46} \times lrr_{2_j} + 0.10081169 \times \sum_{j=1}^{52} T_{400+j-52} \times lrr_{3_j} + 0.09818316 \times \sum_{j=1}^{58} T_{400+j-58} \times lrr_{4_j} + 0.10085042 \times \sum_{j=1}^{72} T_{400+j-72} \times lrr_{5_j} + 0.09852513 \times \sum_{j=1}^{92} T_{400+j-92} \times lrr_{6_j} + 0.10033075 \times \sum_{j=1}^{110} T_{400+j-110} \times lrr_{7_j} + 0.09997940 \times \sum_{j=1}^{142} T_{400+j-142} \times lrr_{8_j} + 0.10190318 \times \sum_{j=1}^{155} T_{400+j-155} \times lrr_{9_j} + 0.10041566 \times \sum_{j=1}^{167} T_{400+j-167} \times lrr_{10_j} \quad (9)$$

где T_{N+1} – прогноз затрат времени выполнения работ для N+1 момента времени; N – номер зарегистрированных или прогнозируемых данных (день); lrr_{i_j} – коэффициенты линейно-рекуррентной формулы в i-м фазовом пространстве; T_j – затраченное время на выполнение работ за j-й день.

Стоит отметить, что разработанная модель прогнозирования позволяет получить прогноз как тренда, так и периодических составляющих, а структура и параметры модели выбираются на основании статистических характеристик исходных данных.

Обсуждение результатов. Предложенный метод прогнозирования затрат времени на выполнение работ позволяет решить задачу оценки количества заказов и исполнителей в будущем, что существенно повышает эффективность планирования и назначения работ разного типа. В работе проведен сравнительный анализ результатов прогнозирования неоднородного временного ряда затрат времени на выполнение работ с использованием различных моделей. В качестве оценки эффективности среднесрочного прогноза неоднородного временного ряда затрат времени на выполнение работ предлагается использовать взвешенный критерий точности и сохранения динамики изменения данных

$$Q_i = 100 - \left(k_1 \sqrt{\frac{100 * Ae_i}{E} * Re_i} + k_2 \sqrt{\frac{1}{2} * \left(\left(\frac{100 * (Ag - Ag_i)}{Ag} \right)^2 + (Tg - Tg_i)^2 \right)} \right) \quad (10)$$

$$k_1 + k_2 = 1;$$

где k_1, k_2 – коэффициенты оценки точности и сохранения динамики при прогнозировании; i – индекс модели прогнозирования; Ae_i – средняя абсолютная ошибка результатов прогноза для i-й модели прогнозирования; E – среднее значение исследуемого ряда; Re_i – средняя относительная ошибка результатов прогноза для i-й модели прогнозирования; Ag – средний абсолютный прирост показателей исследуемого ряда; Ag_i – средний абсолютный прирост показателей ряда результатов прогнозирования для i-й модели;Tg – средний цепной темп роста показателей исследуемого ряда; Tg_i – средний цепной темп роста показателей ряда результатов прогнозирования для i-й модели.

На основании предложенного показателя качества результатов прогнозирования неоднородных временных рядов с использованием коэффициентов $k_1 = 0.4$, $k_2 = 0.6$ была построена столбиковая диаграмма сравнения результатов прогнозирования. Результаты получены для моделей ARIMA, Neural network, Phase space SSA.

Где, ARIMA – качество результатов прогноза с использованием модели авторегрессии проинтегрированного скользящего среднего порядка (2, 1, 1).

Neural network – качество результатов прогноза с использованием модели прогнозирования с использованием нейронной сети.

Phase space SSA – качество результатов прогноза с использованием модели прогнозирования с использованием нескольких фазовых пространств.

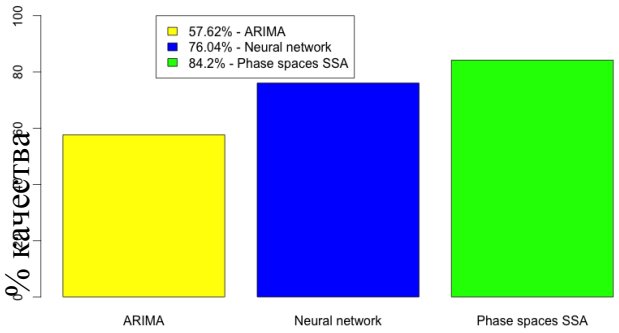

Рис. 3 – Столбиковая диаграмма оценки эффективности моделей прогнозирования неоднородного временного ряда

В результате работы предложен и апробирован метод прогнозирования данных временных затрат на выполнение работ конкретного типа, представленных в виде временных рядов, который позволяет определить необходимое и достаточное количество трудовых ресурсов компании для выполнения прогнозируемого количества заказов. Расчет данных величин предлагается производить с использованием формул (1), (2), (3). Применение предложенного метода прогнозирования позволяет решать задачу прогнозирования затрат времени на выполнение работ разного типа для разных видов бизнеса в WFM-системах, так как он является адаптивным и не накладывает ограничений на структуру входных данных.

Выводы. В работе проведен анализ комплексного автоматизированного решения для реализации постгарантийного обслуживания и облуживания по заказам на местах (Field Service Management), которое используется компаниями, предоставляющими сервисные услуги. Выделена проблема прогнозирования затрат времени на выполнение работ, качественное решение которой позволит регулировать численность исполнителей и набор навыков сотрудников, которые потребуются для выполнения всех заказов в будущем. Для решения поставленной задачи предложено представить данные, описывающие временные затраты на выполнение работ, в виде временных рядов и применить метод прогнозирования с использованием сингулярного разложения и представления данных ряда динамики в нескольких фазовых пространствах. В виду того, что данный метод не накладывает ограничений на структуру временных рядов, его можно использовать для прогнозирования различных видов работ и типов бизнеса в рамках автоматизированных систем управления рабочей силой (Workforce management). На примере данных затрат времени на выполнение работы «Инсталляция» построен прогноз затрат времени на 45 дней с использованием соответствующего ряда динамики и предложенного метода.

Сравнительный анализ результатов прогнозирования с использованием разных методов показал, что метод прогнозирования, основанный на сингулярном разложении и представлении данных ряда в нескольких фазовых пространствах, позволяет повысить качество прогноза на 8% с учетом критериев точности и сохранения динамики временного ряда.

Список литературы: 1. Box, G. E. P. Time Series Analysis: Forecasting and Control [Text] / G. E. P. Box, G.M. Jenkins, G.C. Reinsel. – 4rd ed. – US: John Wiley & Sons., 2008. – 784 p. **2.** Бриллин-

джер, Д. Временные ряды. Обработка данных и теория [Текст] / Д. Бриллинджер. – М.: Мир, 1980. – 536 с. **3.** Кольцова, Л. Н. Автоматизация персонифицированного учета персонала [Текст] / Л. Н. Кольцова // Кадровые решения. – 2010. – № 4(58). – С. 32–40. **4.** Mahadevan, B. Operation Management: Theory and Practice [Text] / B. Mahadevan. – New Delhi, India: Dorling Kindersley Pvt. Ltd, 2009. – 582 P. **5.** Whiteson, Sh. Adaptive Job Routing and Scheduling/ Shimon Whiteson, Peter Stone [Text] // Engineering Applications of Artificial Intelligence. – 2005. – Vol. 17(7). – P. 3–30. **6.** Karakatič, S. A survey of genetic algorithms for solving multi depot vehicle routing problem [Text] / Sašo Karakatič, Vili Podgorelec // Applied Soft Computing. – 2015. – Vol. 27. – P. 519–532. **7.** Kratica, J. A Genetic Algorithm for the Routing and Carrier Selection Problem [Text] / Jozef Kratica, Tijana Kostic, Dus an Tosic, Djordje Dugosija, Vladimir Filipovic // ComSIS. – 2012. – Vol. 9, No. 1. – P. 49-62. **8.** Chang Wook Ahn, A Genetic Algorithm for Shortest Path Routing Problem and the Sizing of Populations [Text] / Chang Wook Ahn // IEEE transactions on evolutionary computation. – 2002. – Vol. 6, N 6. – P. 566-579. **9.** Kiraly, A. Redesign of the supply of mobile mechanics based on a novel genetic optimization algorithm using Google Maps API [Text] / Andras Kiraly, Janos Abonyi // Engineering Applications of Artificial Intelligence. – 2015. – Vol. 38. – P. 122–130. **10.** Petrakis, I. On the impact of real-time information on field service scheduling [Text] / Ioannis Petrakis, Christian Hass, Martin Bichler // Decision Support Systems. – 2012. – Vol. 53, Issue 2. – P. 282–293. **11.** Papadopoulos, H. T. A field service support system using a queueing network model and the priority MVA algorithm [Text] / H. T. Papadopoulos // Omega. – 1999. – Vol. 24, Iss. 2. – P. 195–203. **12.** Oracle Field Service Routing Cloud Service // https://www.oracle.com/applications/customer-experience/service/field-service-management/routing.html – Режим доступа: http://www.oracle.com/us/products/applications/routing-cloud-service-2413009.pdf. – Oracle Service Cloud. **13.** Чистякова, А. Information technology of definition of components irregular time series by means of singular decomposition [Текст] / А. Чистякова, Д. Негурица, Б. Шамша // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2010. – Vol. 4, N 4(46). – P. 23-27. – Way of Access: DOI: 10.15587/1729-4061.2010.2959. **14.** Чистякова, А. Идентификация структуры нестационарного временного ряда при помощи метода сингулярного спектрального анализа [Текст] / А. А. Чистякова, Б. В. Шамша // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – 2011. – № 4(52). – С. 105-111. **15.** Чистякова, А. Оценка глубины погружения в методе SSA при моделировании нелинейных временных рядов [Текст] / А. А. Чистякова, Б. В. Шамша // Вестник развития науки и образования. – 2013. – №4. – С. 59-68. **16.** Чистякова, А. Информационная технология прогнозирования нестационарных временных рядов с использованием сингулярного спектрального анализа [Текст] / Анна Чистякова, Борис Шамша // Восточно-Европейский журнал передовых технологий**.** – 2014. – Vol. 2, N 4(68). – P. 24-30. – Way of Access : DOI : 10.15587/1729-4061.2014.22158. **17.** Чистякова, А. А. Информационная технология прогнозирования временных рядов методом SSA с учетом риска [Текст] / А. А. Чистякова, Б. В. Шамша // Международный Конгресс «Энергосбережение и информационные технологии» “ES@IT – 2013”, 16-22 сентября 2014 г., г. Харьков. – 2013. – С. 72.

Bibliography (transliterated): **1.** *Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C*. (2008). Time Series Analysis: Forecasting and Control, 4rd ed. US: John Wiley & Sons, 784. **2.** *Billinger, D*. (1980). Time Series. Processing of data and theory. Moscow: Mir, 536. **3.** *Koltsova, L*. (2010). Automation personified accounting staff. Staffing Solutions, 4(58), 32–40. **4.** *Mahadevan, B*. (2009). Operation Management: Theory and Practice. New Delhi, India: Dorling Kindersley Pvt. Ltd., 582. **5.** *Whiteson, Sh., Stone, P*. (2005). Adaptive Job Routing and Scheduling. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 17(7), 3–30. **6.** *Karakatič, S. Podgorelec, V*. (2015). A survey of genetic algorithms for solving multi depot vehicle routing problem. Applied Soft Computing, 27, 519–532. **7.** *Kratica, J., Kostic, T., Tosic, D., Dugosija, D*. (2012). A Genetic Algorithm for the Routing and Carrier Selection Problem. ComSIS, 9(1), 49-62. **8.** *Chang Wook Ahn*. (2002). A Genetic Algorithm for Shortest Path Routing Problem and the Sizing of Populations. IEEE transactions on evolutionary computation, 6(6), 566-579. **9.** *Kiraly, A., Abonyi, J*, (2015). Redesign of the supply of mobile mechanics based on a novel genetic optimization algorithm using Google Maps API. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 38, 122–130. **10.** *Petrakis, I. Hass, Ch., Bichler, M*. (2012). On the impact of real-time

information on field service scheduling. Decision Support Systems, 53(2), 282–293. **11.** *Papadopoulos, H. T.* (1999). A field service support system using a queueing network model and the priority MVA algorithm. Omega, 24, 195–203. **12.** Oracle Field Service Routing Cloud Service. Oracle.com. Retrieved April 30, 2015, from https://www.oracle.com/applications/customer-experience/service/field-service-management/routing.html [in English]. **13.** *Chistyakova, A., Neguritsa, D., Shamsha, B.* (2010). Information technology of definition of components irregular time series by means of singular decomposition. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 4(4(46)), 23-27. doi:http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2010.2959. **14.** *Chistyakova, A., Shamsha, B.* (2011). Identification of the structure of non-stationary time series using the method of singular spectrum analysis. Electronic and computer systems, 4(52), 105-111. **15.** *Chistyakova, A., Shamsha, B.* (2013). Evaluation of the depth of immersion in the method of SSA in modeling nonlinear time series. Bulletin of Science and Education Development, 4, 59-68. **16.** *Chistyakova, A., Shamsha, B.* (2014). Information technology of forecasting non-stationary time-series data using singular spectrum analysis. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 2(4(68)), 24-30. doi:http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2014.22158. **17.** *Chistyakova, A., Shamsha, B.* (2014). Information technology time series prediction using SSA method with risk consideration. International Congress «Energy and Information Technologies». «ES@IT – 2013», 72.

Надійшла (received) 27.04.2015

УДК 621.365.2:51-74

***А. А. ШРАМ*,** канд. техн. наук, доц., ЗНТУ, Запорожье

РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИОННО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ СТЕКЛА

Целью работы являлось построение и анализ математической модели ионно-плазменной обработки поверхности стекла при атмосферном давлении. Рассмотрено построение математической модели ионно-плазменной обработки поверхности стекла при атмосферном давлении на основании регрессионного анализа. Полученная модель позволяет определить в каком направлении, и в какой степени необходимо варьировать факторами для достижения оптимального качества получаемых покрытий.

Ключевые слова: математическая модель, регрессионный анализ, многофакторный эксперимент, низкотемпературная плазма, стекло.

Введение. Введение модифицирующих элементов в поверхностный слой стекла позволяет повысить его эксплуатационные свойства, механическую прочность, обеспечить регулирование оптических свойств, а также получить возможность окрашивания стекла в различные цвета.

Качество модифицированного поверхностного слоя стекла зависит от таких параметров, как: вид исходного материала внедрения, состав обрабатываемого стекла, расход и вид плазмообразующего газа, геометрических и энергетических параметров плазмотрона [1 – 4].

Возможность предварительного определения оптимальных диапазонов изменения технологических параметров процесса для обеспечения внедрения элементарных частиц модифицирующего материала (атомов и ионов) и равномерного их распределения в диффузионном слое приводит к снижению удельного расхода материала внедрения при формировании высококачественных проникающих покрытий на поверхности стекла с одновременным повышением производительности процесса обработки.

Малая изученность процесса ионно-плазменной модификации поверхности

© А. А. ШРАМ,, 2015