

УДК 004.8

РАЗРАБОТКА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИИ ШКОЛЬНОГО МЕНЮ НА ОСНОВЕ ЭВОЛЮЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

С. Н. ШЕМЯКОВА, А. Д. ТЕРЕШКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Организация школьного питания требует строгого соблюдения жестких санитарно-эпидемиологических требований, физиологических норм потребления (КБЖУ) и бюджетных ограничений. Традиционные методы формирования циклических меню опираются на субъективные экспертные оценки технологов или использование статических шаблонных рационов. Данные подходы обладают рядом недостатков: они не способны динамически адаптироваться к сезонным колебаниям цен на продукты, часто приводят к дисбалансу нутриентов и игнорируют реальные вкусовые предпочтения обучающихся. В итоге возникает проблема высокого уровня пищевых отходов (до 40 %...50 %) и риска нарушения нормативов питания. Ручной перебор вариантов для поиска компромисса между стоимостью, пользой и привлекательностью является вычислительно сложной задачей для человека.

Для решения указанной задачи разработано веб-приложение, содержащее подсистему эволюционной оптимизации циклического школьного меню. Система автоматизирует процесс составления рационов на заданный период (10–14 дней), выполняя многокритериальный поиск глобального оптимума с применением генетического алгоритма (ГА).

В основе системы лежит формальная модель, где вариант меню кодируется в виде матрицы M размерностью $T \times S$ (где T – дни периода; S – приемы пищи). Для оценки особей в популяции разработана многокритериальная фитнес-функция $\Phi(M)$, которая минимизирует взвешенную сумму нормализованных показателей

$$\Phi(M) = \alpha \cdot \frac{F_1(M)}{F_1^{\max}} + \beta \cdot \left(1 - \frac{F_2(M)}{F_2^{\max}}\right) + \gamma \cdot \frac{F_3(M)}{F_3^{\max}} + \delta \cdot \sum_r \lambda_r \cdot \varphi_r(M),$$

где $F_1(M)$ – себестоимость рациона; $F_2(M)$ – интегральный показатель потребительской привлекательности (рассчитывается на основе статистики пищевых отходов); $F_3(M)$ – относительное отклонение от суточных норм КБЖУ для заданной возрастной группы.

Параметры α , β , γ являются весовыми коэффициентами ($\alpha + \beta + \gamma = 1$). Для обеспечения валидности решений в модель интегрирован аппарат штрафных функций $\varphi_r(M)$ с весами λ_r , строго ограничивающий нарушения санитарных норм (например, повторяемость блюд в смежные дни, отсутствие обязательных нутриентных групп) и выход за пределы заданного бюджета.

Программная реализация выполнена по трехуровневой архитектуре. Клиентская часть (React, Material UI) обеспечивает редактирование матрицы

меню и настройку параметров эволюции. Серверная часть (Node.js, Express.js) инкапсулирует бизнес-логику и оркестрирует вычисления. Слой данных организован на основе PostgreSQL. Ключевые серверные модули включают: CalculationService – модуль расчета пищевой ценности и себестоимости блюд на основе техкарт и актуальных цен; GACore – ядро генетического алгоритма, реализующее селекцию, кроссовер, а также направленную мутацию с проверкой допустимости замен; GAOrchestrator – модуль управления жизненным циклом эволюции, поддерживающий фиксацию отдельных полей и механизм ранней остановки при стагнации.

Представленная диаграмма компонентов на рис. 1 демонстрирует трехуровневую архитектуру разработанного ПО. Она отражает маршрут прохождения управления: от клиентского интерфейса (WebUI) через серверный шлюз (RESTGateway) к контроллерам и сервисам бизнес-логики. Диаграмма подтверждает строгое разделение ответственности, где сервисы делегируют задачи репозиториям, обеспечивающим инкапсулированный доступ к базе данных PostgreSQL.

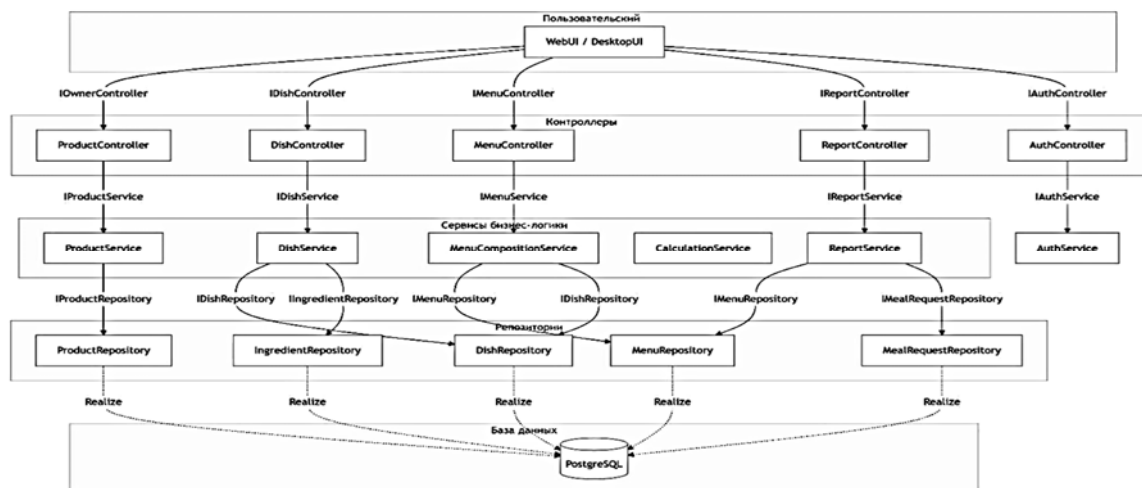


Рис. 1. Диаграмма компонентов подсистемы оптимизации меню

В ходе экспериментов были подобраны оптимальные параметры генетического алгоритма. Показано, что вероятность скрещивания должна быть не ниже 0,8, иначе алгоритм перестает находить лучшие решения. Наилучший результат достигается при вероятности мутации 0,08 и размере популяции 200 вариантов меню. Кроме того, была внедрена автоматическая остановка, если в течение 20 поколений меню не улучшается. Это позволяет экономить время и ресурсы компьютера без потери качества итоговых рационов.

В результате разработано и протестировано программное обеспечение, которое автоматически генерирует сбалансированные циклические меню. Система гарантирует соответствие физиологическим нормам и санитарным требованиям, оптимизирует финансовые затраты и максимизирует привлекательность блюд, что приведет к снижению объема пищевых отходов. Разработанное решение переводит процесс планирования школьного питания из плоскости субъективного экспертного моделирования в область объективной математической оптимизации.