УДК 004.942

DOI: 10.15827/0236-235X.131.530-537

Дата подачи статьи: 12.05.20

2020. Т. 33. № 3. С. 530–537

Разработка проблемно-ориентированной системы управления показателями технологических процессов рудника подземного скважинного выщелачивания урана

Д.Р. Подрезов¹, соискатель, dpodrezov81@rambler.ru

¹ Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва, 119049, Россия

Информационная система управления предназначена для принятия своевременных эффективных и обоснованных управленческих решений в сфере оперативного и тактического производственного планирования. В основу реализации проблемно-ориентированной системы управления положена производственно-экономическая модель функционирования предприятия. Основной функционал модели заключается в расчете производственных и экономических показателей функционирования предприятия при заданных объемах расходов ресурсов при реализации производственной программы в условиях различных сценариев развития факторов внешней среды. Главным назначением системы является моделирование деятельности предприятий и поиск набора экономических, производственных и технологических показателей для достижения целей производственной программы.

Цель работы – создание проблемно-ориентированной системы управления показателями технологических процессов рудника подземного скважинного выщелачивания для реализации информационно-аналитической поддержки процедур и процессов, позволяющих оперативно анализировать, моделировать, прогнозировать и визуализировать различные сценарии реализации бизнес-процессов и производственной программы предприятия.

Новизна исследования заключается в возможности реализации процедуры моделирования показателей функционирования и оценки запасов технологических блоков рудника подземного скважинного выщелачивания урана для определения ресурсного потенциала месторождения в целом, базируясь на анализе динамики базовых технико-экономических показателей и сценарных условиях развития бизнес-процессов предприятия.

Использование системы позволит формировать целевые показатели работы предприятия с различными горизонтами планирования. Для целей оперативного и тактического производственного планирования производится расчет бюджета по материальным ресурсам, а по внешним сценариям развития среды формируются портфель проектов производственной программы и консолидационные формы отчетности.

Разработанные процедуры позволяют реализовать функции планирования добычи непосредственно по отдельным технологическим блокам рудника и формировать производственную программу развития технологического полигона в целом на основе полученных модельных вариантов вскрытых запасов и сформированной системы условий и ограничений.

Ключевые слова: проблемно-ориентированная система управления, иерархическая распределенная система, оптимальная производственная программа, моделирование технико-экономических показателей, моделирование вскрытых запасов.

Технологический процесс геотехнологического полигона и цеха переработки продуктивных растворов является непрерывно-периодическим и как системный объект управления характеризуется инерционностью технологических процессов, большим количеством входных и выходных параметров системы, наличием специфических ручных операций, агрессивных жидкостей, токсичных жидкостей, транспортировкой растворов с возможным ветвлением потоков, наличием режимов работы технологического оборудования, ПИД-регуляторов в системах автоматического управления [1].

Создание проблемно-ориентированной системы управления показателями технологических процессов геотехнологического полигона и цеха переработки продуктивных растворов определяется прежде всего технико-экономической целесообразностью и обеспечивает следующее: повышение оперативности и надежности контроля и управления основными показателями технологических циклов; поддержание важных технологических параметров процесса на заданном уровне в реальном режиме времени; повышение технико-экономических показателей работы предприятия за счет расширения, полноты состава и ка-

чества выполнения функций автоматизированного отображения и учета измеряемой информации; своевременное представление технологической информации о состоянии оборудования в удобном для системного анализа виде; оперативный учет материальных потоков и ресурсов; управление технологическими процессами в различных режимах [2–4].

Целью работы является повышение эффективности функционирования уранодобывающего предприятия на основе моделирования и оценки различных сценариев реализации бизнес-процессов и прогнозирования показателей производственной программы предприятия с использованием созданной проблемно-ориентированной системы управления параметрами технологических процессов рудника подземного скважинного выщелачивания.

Новизна исследования заключается в определении ресурсного потенциала месторождения на основе реализации процедур сценарного моделирования базовых технико-экономических показателей развития бизнес-процессов предприятия и оценки запасов технологических блоков рудника подземного скважинного выщелачивания урана.

Основная функция разработанной проблемно-ориентированной системы управления показателями технологических процессов заключается в реализации процессов контроля и управления технологическим процессом добычи и в учете динамики отработки запасов урана на геотехнологическом полигоне месторождения (см. <http://www.swsys.ru/uploaded/image/2020-3/2020-3-dop/20.jpg>).

Система позволяет следующее: предоставлять оперативную информацию о состоянии параметров процесса отработки запасов на объектах технологического полигона; поддерживать важные технологические параметры добычи и переработки на заданном технологическим регламентом уровне; управлять оборудованием в дистанционном режиме; оперативно выявлять аварийные ситуации; вести учет расхода растворов и реагентов; дополнять и изменять систему формализованных расчетных данных (параметров, коэффициентов, функций, расчетных формул) без серьезных технических переделок; формировать документы, характеризующие ход технологического процесса; обеспечивать надежность выполнения возложенных задач за счет применения современных технических средств [5].

Кроме того, проблемно-ориентированная система управления показателями технологи-

ческих процессов служит для выполнения следующих функций: сбор, обработка и хранение информации о переменных, характеризующих состояние технологических блоков; формирование и представление информации о процессе добычи и переработки растворов технологическому и административному персоналу; реализация функций локальных систем регулирования, стабилизации и мониторинга заданных параметров технологических процессов; дистанционное управление технологическим оборудованием узлов перерабатывающего комплекса; графическое, цифровое, мнемоническое отображение оперативных данных о функционировании управляемых объектов технологического полигона; сигнализация предаварийных и аварийных ситуаций; формирование и печать отчетных документов [6–8].

Созданная проблемно-ориентированная система управления показателями технологических процессов обеспечит работоспособность и эффективное функционирование добычного и перерабатывающего комплекса за счет стабилизации и объемного соответствия в режиме реального времени технологических параметров процессов добычи и переработки растворов, оперативной реакции системы на возмущающие воздействия и повышения технологической дисциплины процессов добычи и переработки, что позволит повысить эффективность добычи, извлечения урана из растворов подземного скважинного выщелачивания, снизить удельные расходы химических реагентов, материалов и энергоресурсов, а также повысить качество выпускаемой продукции.

В структуре перерабатывающего комплекса проблемно-ориентированная система управления показателями технологических процессов должна обеспечить: сбор и обработку информации о технологических параметрах узлов перерабатывающего комплекса; недопустимость прерывания потока контролируемой оперативной информации для технологического персонала больше чем на 0,5 часа; отображение эксплуатационно-технологических параметров на экранах рабочих станций технологического персонала; представление технологической информации административному персоналу перерабатывающего комплекса; ввод информации по данным химических анализов из физико-химической лаборатории; выдачу сообщений о нарушениях технологического регламента, включая аварийную и предаварийную световую и звуковую сигнализацию.

Разработанная проблемно-ориентированная система управления показателями технологи-

ческих процессов является иерархической распределенной трехуровневой системой. Нижний (полевой) уровень представлен контрольно-измерительными приборами, датчиками и исполнительными механизмами. Для подключения приборов и механизмов к устройствам среднего уровня (контроллерам) используются унифицированный токовый сигнал 4...20 мА (преобразователи давления), цифровой интерфейс RS485, протокол Modbus (расходомеры), цифровой интерфейс PROFIBUS-PA (расходомеры, клапаны), дискретные сигналы +24В (клапаны, насосы).

Средний уровень системы выполнен на базе контроллеров SIMATIC S7-1200 и контроллеров SIMATIC S7-300, осуществляющих сбор, обработку значений технологических параметров и выдающих управляющие воздействия на исполнительные механизмы в соответствии с выбранными критериями управления. Верхний уровень проблемно-ориентированной системы управления показателями технологических процессов выполнен на базе следующих специализированных программных модулей управления параметрами добычи и переработки урана на руднике подземного скважинного выщелачивания: прогнозирования и планирования показателей внешней среды функциониро-

вания предприятия, расчета производственной программы, планирования и управления ресурсами предприятия, анализа и принятия управленческих решений [9, 10] (рис. 1).

Разработанная система является уникальной для функционирования рудника подземного скважинного выщелачивания [11–13]. При этом она базируется на основных концептуальных моментах автоматизации задач проектирования технико-экономических показателей, учета материалов и реагентов, анализа и планирования программ развития на объектах подземного скважинного выщелачивания урана [2].

Программные модули планирования производственной программы базируются на сформированных принципах переоценки запасов и прогноза показателей производственных показателей и содержат процедуры расчета взаимосвязей показателей добычи и переработки продуктивных растворов (рис. 2). В структуре данного модуля сформированы блоки расчета показателей геотехнологического полигона и цеха переработки продуктивных растворов. В рамках разработанных модулей определены основные параметры управления проблемно-ориентированной системы и произведено планирование объемов добычи.

Рис. 1. Архитектура программных модулей проблемно-ориентированной системы управления показателями технологических процессов рудника подземного скважинного выщелачивания

Fig. 1. Architecture underground well leaching mine process parameters of problem-oriented control system software modules

Рис. 2. Процедуры программных модулей планирования производственной программы, оценки запасов и прогноза

Fig. 2. Procedures of program modules for production program planning, reserve calculations and forecasting

Все сетевые компоненты верхнего и среднего уровней системы объединяются при помощи существующей оптической сети.

В связи со значительной удаленностью, разобщенностью и периодической перемещаемостью объектов технологического полигона, а также с трудностью прокладки кабельных трасс связи используется беспроводная сеть стандарта Wi-Fi 2,4 ГГц. Структура беспроводной сети представляет собой распределенную сеть с абонентскими точками. В такой сети создаются зоны покрытия и беспроводные магистральные каналы между объектами геотехнологического полигона. Зона покрытия Wi-Fi создается путем использования на объектах геотехнологического полигона оборудования фирм Siemens и TP-LINK.

В состав нижнего уровня системы входят следующие приборы и средства автоматизации: преобразователь давления измерительный, выход 4...20 мА (существующие); расходомер электромагнитный, выход RS-485 (Modbus RTU) (существующие); расходомер электромагнитный, выход PROFIBUS-PA (существующие); клапан регулирующий (существующие).

Считывание данных с расходомеров по интерфейсам RS485 и PROFIBUS-PA позволяет избавиться от дополнительных погрешностей цифро-аналогового и аналогово-цифрового преобразования сигналов, а также считывать непосредственно с расходомера не только текущий расход, но и данные об объеме растворов, прошедших через расходомер за заданное время.

Для контроля работы оборудования, технологических параметров процесса и оператив-

ного управления используются станции оператора на базе промышленных компьютеров SIEMENS. На мнемосхемах станции оператора отображаются необходимые текущие, а также суммарные значения технологических параметров, предоставляется возможность оператору-технологу по своему усмотрению вести технологический процесс. Для анализа работы, нештатных ситуаций и расчета технико-экономических показателей работы на станциях оператора ведется архив значений технологических параметров и состояния оборудования.

При разработке проблемно-ориентированной системы управления показателями технологических процессов были заложены следующие основные принципы: увеличение времени безаварийной и бесперебойной работы за счет эксплуатационной надежности контрольно-измерительных приборов; создание структуры управления, позволяющей подключать новые объекты управления при минимальных изменениях в исходной системе; высокая степень визуализации состояния оборудования и технологических параметров; своевременное обнаружение и ускорение анализа причин возникновения нештатных технологических ситуаций; повышение технологической дисциплины, которая обеспечивается автоматизированным контролем параметров и повышением ответственности технологического персонала за ведение конкретных технологических операций; вывод обслуживающего персонала из помещений с агрессивной и опасной средой; обеспечение высокой надежности каналов сбора и обработки информации за счет использования программно-технической базы фирмы SIEMENS; удобство управления технологиче-

ским процессом; модульная конструкция и возможность расширения; высокое качество и стабильность ПО; уменьшение затрат на приобретение запасных частей, обусловленное использованием однотипного оборудования; простота технического обслуживания и замены оборудования.

Проблемно-ориентированная система управления показателями технологических процессов выполнена на базе высокопроизводительной системы управления процессом SIMATIC PCS7, которая базируется на использовании модульной и открытой архитектуры, современной технологии SIMATIC, последовательной поддержке множества промышленных стандартов и современных вариантов управления производственными процессами.

Интеллектуальным устройством геотехнологического полигона и цеха переработки продуктивных растворов является многофункциональная панель управления фирмы Siemens MP-377, в которой совмещены функции панели оператора и программируемого логического контроллера WinAC MP.

Преимущества применения системы SIMATIC PCS7 достигаются снижением затрат на инженерные разработки, использованием стандартных компонентов SIMATIC, высокой гибкостью адаптации производства к изменяющимся требованиям, снижением затрат на выполнение проектных работ, простым выбором необходимых компонентов, снижением затрат на обслуживание и обучение персонала.

Таким образом, разработанная проблемно-ориентированная система управления показателями технологических процессов представляет собой иерархическую распределенную трехуровневую систему (схему интерфейсных соединений комплекса программных и технических средств).

Основные решения по функционированию проблемно-ориентированной системы управления показателями технологических процессов заключаются в следующем. Для реализации целей контроля и управления система выполняет ряд информационных и управляющих функций и условно делится на следующие подсистемы: подсистема *централизованного контроля* (ЦК) технологических параметров и работоспособности технологического оборудования, подсистема *управления* (УП); подсистема *режимного обеспечения* (РО).

Подсистема ЦК выполняет следующие функции: централизованный сбор информации о состоянии технологических процессов техно-

логического полигона и цеха переработки продуктивных растворов, формализованная математическая обработка информации (фильтрация данных, определение зависимостей, нормирование входных параметров и сигналов), подготовка и передача информации для подсистемы УП.

В случае выхода контролируемого параметра за пределы зоны регулирования подается сигнал на рабочую станцию оператора-технолога, сигнал протоколируется. Вся информация об аварийных остановках оборудования и аварийных значениях параметров технологического процесса протоколируется в обязательном порядке. Контроль параметров, характеризующих ход технологического процесса, осуществляется при помощи датчиков, сигналы с которых поступают в контроллеры. После предварительной обработки данные о состоянии объектов управления передаются на верхний уровень.

Подсистема УП предназначена для расчета, формирования и выдачи управляющих воздействий и решений. В такой постановке она обеспечивает предоставление оперативной информации о состоянии технологического оборудования и технологических параметрах процесса, выдачу управляющих воздействий и решений в соответствии с заданными критериями, формирование и выдачу управляющих сигналов в соответствии с программой действий в случае аварийных ситуаций. Предусмотрены ввод и обработка директив оператора-технолога по управлению работой отдельного оборудования и по корректировке технологических уставок.

Подсистема РО предназначена для выполнения режимных требований, защиты системы от несанкционированных вмешательств в работу.

Для предотвращения несанкционированного доступа к управлению панелью в нее встроена система авторизации. Определены три группы пользователей: администратор, инженер, оператор.

Надежность системы обеспечивается следующими решениями: надежностью комплекса технических средств и ПО, а именно использованием контроллеров, ПО и приборов полевого уровня фирмы SIEMENS и других ведущих фирм; использованием принципа распределенного построения системы управления.

Решения по информационному обеспечению проблемно-ориентированной системы управления показателями технологических процессов включают в себя согласованную си-

стему отображения технологической информации, оперативную информацию о состоянии технологического процесса, сообщения и директивы, выдаваемые по запросам персонала, сообщения и протоколирование событий; выходные сигналы и документы, нормативно-справочную информацию.

Оперативная информация о состоянии технологического процесса включает в себя текущие данные о состоянии технологического оборудования, текущие данные о параметрах технологического процесса (объемы добычи, расходы материалов и реагентов, состояние запасов), выходную информацию, выдаваемую на исполнительные устройства, значения заданий регуляторам.

Нормативно-справочная информация содержит данные технологических параметров, значения границ нормы, регламентные и аварийные границы, коэффициенты расчета действующих значений, константы, коэффици-

енты и функции для математической обработки информации.

Таким образом, разработанная информационная система позволяет реализовать процедуры моделирования показателей функционирования и оценки запасов технологических блоков рудника подземного скважинного выщелачивания урана, а также определить ресурсный потенциал месторождения в целом и основные технико-экономические показатели бизнес-процессов предприятия.

Кроме того, разработанная проблемно-ориентированная система управления показателями технологических процессов рудника подземного скважинного выщелачивания урана позволяет реализовать функции планирования добычи по технологическим блокам рудника и формирование производственной программы развития технологического полигона на основе полученных модельных вариантов вскрытых запасов.

Литература

1. Дементьев А.А. Компьютерная модель расчета технико-экономических показателей (на примере месторождений урана для разработки подземным выщелачиванием) // Горный информационно-аналитический бюллетень. 1999. № 2. С. 169–175.
2. Кочегаров Ю.В., Рыков В.Е., Шишкин Б.Б. Автоматизация задач проектирования, учета, анализа и планирования на объектах подземного выщелачивания урана // Горный журнал. 2003. № 8. С. 84–85.
3. Шеметов П.А., Глотов Г.Н. Теоретические основы автоматизированных систем геотехнологии подземного выщелачивания урана // Горный журнал. 2011. № 11. С. 35–40.
4. Харитонов В.В. и др. Экономико-аналитические модели динамики развития ядерной энергетики. М.: Изд-во НИЯУ МИФИ, 2012. 76 с.
5. Марченко И.В., Постников В.Д. Моделирование последовательности и времени отработки блоков гидрогенного месторождения методом подземного выщелачивания // Изв. вузов. Цветная металлургия. 1988. № 2. С. 45–47.
6. Басов В.С. Выбор оптимальной схемы вскрытия месторождения геотехнологическими скважинами // Горный журнал. 2006. № 1. С. 51–53.
7. Верхотуров А.Г., Сабигатулин А.А. Интенсификация добычи урана при использовании комплекса обработки прифильтровых зон геотехнологических скважин // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 7. С. 13–20. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-07-0-13-20.
8. Голик В.И. Инновационные технологии добычи урана // Горный журнал. 2009. № 2. С. 12–15.
9. Рогов А.Е. К определению оптимального уровня извлечения урана при подземном скважинном выщелачивании // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2003. № 9. С. 119–121.
10. Рогов Е.И., Рогов А.Е., Язиков В.Г. Оптимизация подготовленных и готовых к выемке запасов на рудниках подземного скважинного выщелачивания урана // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2002. № 4. С. 149–150.
11. Джакупов Д.А. Повышение эффективности добычи урана методом подземного скважинного выщелачивания // Інноваційний Розвиток Гірничодобувної Галузі Міжнар. наук.-техніч. інтернет-конф.: сб. матер. Украина. Кривой Рог, 2016. С. 130–133 (рус.).
12. Оракбаев Е.Ж. Исследование и разработка эффективных систем управления процессом подземного выщелачивания: дис. ... докт. филос. наук. Казахстан, Алматы. 2017. 113 с.
13. Экономико-аналитические модели динамики развития ядерной энергетики; [под ред. В.В. Харитонova]. М.: Изд-во НИЯУ МИФИ, 2012. 76 с.

Development of a problem-oriented system for managing the process parameters of an underground well uranium leaching mine

D.R. Podrezov¹, Applicant, dpodrezov81@rambler.ru

¹ National University of Science Research Technological "MISIS", Moscow, 119049, Russian Federation

Abstract. The management information system is designed to make timely, effective, and well-grounded management decisions in the field of operational and tactical production planning. The problem-oriented management system is based on the productive-economic model of the operation of an enterprise. The main model function is to calculate the production and economic indicators of the enterprise's functioning under a given amount of resource expenditure during the implementation of the production program under various scenarios of the development of environmental factors. The prime purpose of the system is to model the enterprise activity and search for a set of economic, production, and technological indicators to achieve production program goals.

The purpose of the work is to create a problem-oriented system for managing indicators of technological processes of an underground well leaching mine for implementing information and analytical support of procedures and processes that allow to quickly analyze, model, predict and visualize various scenarios for the implementation of business processes and the production program of the enterprise.

The study is novel in that it is possible to implement a procedure for modeling performance indicators and evaluating reserves of technological blocks of an underground borehole uranium leaching mine in order to determine the resource potential of the Deposit as a whole, based on the analysis of the dynamics of basic technical and economic indicators and scenario conditions for the development of business processes of the enterprise.

The system use will make it possible to create targets for the enterprise operation with different planning horizons. For the purposes of operational and tactical production planning, a budget is calculated for material resources, and a portfolio of projects for the production program and consolidation reporting forms are formed according to external environmental development scenarios.

The developed procedures make it possible to implement the production planning directly functions on mine individual technological blocks and to form optimal production programs for the technological polygon development as a whole on the basis of the opened reserves obtained model versions and the formed conditions and restrictions system.

Keywords: problem-oriented management system; the hierarchical distributed system; optimum production program; technical and economic indicators modeling; the opened stocks modeling.

References

1. Dementev A.A. A computer model for calculating technical and economic indicators (on the example of uranium deposits for underground leaching development). *Mining Inform. and Analytic. Bull.*, 1999, no. 2, pp. 169–175 (in Russ.).
2. Kochegarov Yu.V., Rykov V.E., Shishkin B.B. Automation of design, accounting, analysis and planning tasks at underground uranium leaching facilities. *Gornyi Zhurnal*, 2003, no. 8, pp. 84–85 (in Russ.).
3. Shemetov P.A., Glotov G.N. Theoretical fundamentals of automated systems of uranium in-situ leaching geotechnology. *Gornyi Zhurnal*, 2011, no. 11, pp. 35–40.
4. Kharitonov V.V. *Economic and Analytical Models of The Nuclear Power Development Dynamics*. Moscow, 2012, 76 p. (in Russ.).
5. Marchenko I.V., Postnikov V.D. Modeling of the sequence and time of developing hydrogenic field blocks using the in situ leaching method. *Univ. Proc. Nonferrous Metallurgy*, 1988, no. 2, pp. 45–47 (in Russ.).
6. Basov V.S. Selection of the optimal scheme for opening the field with geotechnical wells. *Gornyi Zhurnal*, 2006, no. 1, pp. 51–53 (in Russ.).
7. Verkhoturov A.G., Sabigatulin A.A. Stimulation of uranium recovery by treatment of seepage zones of wells. *Mining Inform. and Analytic. Bull.*, 2019, no. 7, pp. 13–20 (in Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2019-07-0-13-20.
8. Golik V.I. Innovative uranium mining technologies. *Gornyi Zhurnal*, 2009, no. 2, pp. 12–15 (in Russ.).
9. Rogov A.E. To the determination of the optimal uranium extraction level in underground borehole leaching. *Mining Inform. and Analytic. Bull.*, 2003, no. 9, pp. 119–121 (in Russ.).

10. Rogov E.I., Rogov A.E., Yazikov V.G. Optimization of prepared and ready-to-mine reserves in underground uranium leaching mines. *Mining Inform. and Analytic. Bull.*, 2002, no. 4, pp. 149–150 (in Russ.).
11. Dzhakupov D.A. Improving the uranium mining efficiency by in situ leaching. *Proc. Int. Conf. Innovation Development of the Mining Industry*, Ukraine, Krivoj Rog, 2016, pp. 130–133 (in Russ.).
12. Orakbaev E.Zh. Research and Development of Effective Control Systems for the In Situ Leaching Process. *Thes. Dokt. Sci. (Philosophical)*. Kazakhstan, Almaty, 2017, 113 p. (in Russ.).
13. Kharitonov V.V. (Ed.). *Economic and Analytical Models of the Nuclear Power Development Dynamics*. Moscow, 2012, 76 p. (in Russ.).

Для цитирования

Подрезов Д.Р. Разработка проблемно-ориентированной системы управления показателями технологических процессов рудника подземного скважинного выщелачивания урана // Программные продукты и системы. 2020. Т. 33. № 3. С. 530–537. DOI: 10.15827/0236-235X.131.530-537.

For citation

Podrezov D.R. Development of a problem-oriented system for managing the process parameters of an underground well uranium leaching mine. *Software & Systems*, 2020, vol. 33, no. 3, pp. 530–537 (in Russ.). DOI: 10.15827/0236-235X.131.530-537.