

DOI: 10.12737/article_59a93b0e605e75.38189395

*Еременко В.Т., д-р техн. наук, проф.
Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева
Илюхин А.А., канд. техн. наук, доц.,
Попов В.В., сотрудник
Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации*

МЕТОДИКА МНОГОУРОВНЕВОГО СОГЛАСОВАНИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ЕДИНОЙ СЕТИ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ РЕГИОНАЛЬНОЙ АСУТП ЖКХ

wladimir@orel.ru

Технико-экономическая эффективность сетей сбора и обработки данных автоматизированных систем управления технологическими процессами обусловлена последовательными решениями в процессе ее проектирования. В статье предложена методика многоуровневого согласования проектных решений при построении сети сбора и обработки данных на основе модели многоуровневого марковского процесса принятия решений с вероятностной динамикой состояний. При этом обеспечивается возможность принятия решений на каждом этапе с учетом межуровневых взаимодействий, согласованных в рамках решения глобальной оптимизационной задачи.

Ключевые слова: сеть сбора и обработки данных, многоуровневая модель, марковский процесс, межуровневое взаимодействие, функционал Беллмана.

Введение. В настоящее время жилищно-коммунальный сектор экономики России находится в сложном положении, а эффективность работы предприятий жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) остается низкой. Важнейшей задачей современных предприятий ЖКХ является предоставление необходимых услуг населению с максимальной эффективностью и минимальной себестоимостью.

В последние годы все более широкое применение в жилищно-коммунальной сфере находит автоматизация и диспетчеризация инженерных систем, представляющая собой комплекс программно-аппаратных средств, предназначенных для мониторинга и управления.

Автоматизация и диспетчеризация ЖКХ призвана увеличить эффективность использования энергоресурсов и сократить их неконтролируемый расход, снизить совокупные затраты на обслуживание инженерных систем и коммунальной инфраструктуры объектов. Это требует роста уровня технической оснащенности инженерных объектов и использования современных информационных технологий для контроля их работы.

Автоматизация и диспетчеризация систем ЖКХ повышает надежность систем управления и оперативность управления, а также обеспечивают технологическую безопасность и снижения расходов на эксплуатацию.

В условиях городской застройки широкое применение находят беспроводные АСУТП ЖКХ (рис. 1). Современные технологии радиодоступа LoRaWAN, SigFox, Weightless, Nwave, тех-

нологии, основанные на существующих стандартах мобильной связи, протоколы автоматизации технологических процессов LonWorks, KXE/EIB, Modbus, BACnet позволяют добиться высоких результатов в отношении требуемой оперативности и надежности передачи данных, функциональности оборудования сети сбора и обработки данных с меньшими, по сравнению с проводными сетями, затратами на создание сети в целом [1].

Количественный и качественный рост сетей передачи данных по радиоканалам вынуждает разработчиков и производителей систем беспроводной связи искать новые решения проблем взаимодействия узлов и систем, а также совместимости сетей.

С позиции телекоммуникационных технологий АСУТП ЖКХ является сложной территориально-распределенной централизованной системой, характеризующейся различными форматами измерительных и расчетных данных, содержащей измерительные, управляющие и защитные устройства, функционирующие в режиме реального времени.

Для обеспечения корректной, своевременной и точной работы всех компонент АСУТП ЖКХ необходимо наличие единой транспортной телекоммуникационной основы – единой сети сбора и обработки данных (ЕССОД), как совокупности локальных радиосетей, предоставляющей возможности удаленного сбора данных о состоянии объектов и протекающих в них процессах в режиме реального времени, а также разработки управляющих решений.

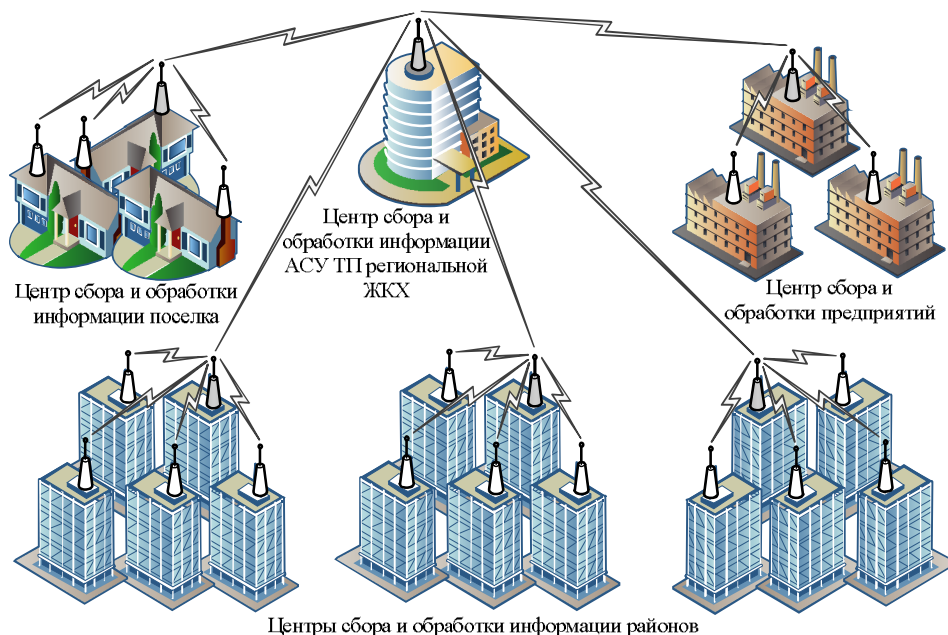


Рис. 1. Общая структура ЕССОД региональной АСУТП ЖКХ

Однако отсутствие в настоящее время научно обоснованных решений по построению единой радиосети сбора и обработки данных, количеству одновременно поддерживаемых соединений на радиоканал, выбору способа передачи сообщений и т.д. обуславливает избыточно высокую проектную стоимость разрабатываемых сетей и не позволяет в будущем обеспечить их масштабируемость [1, 2].

В связи с этим актуальной является разработка методики многоуровневого согласования проектных решений при построении ЕССОД АСУТП ЖКХ, обладающей высокой технико-экономической эффективностью. Основой для согласования проектных решений по каждому этапу построения систем сбора и обработки данных АСУТП является многоуровневая модель марковского процесса принятия решений [3].

Основная часть. Исходными данными при проектировании ЕССОД являются количество абонентских станций N_{ac} , передающих сообщения датчиков, и места их географического местоположения LP_{bc} (географические координаты) в локальных радиосетях (ЛРС). Технология и протокол передачи сообщений методом случайного множественного доступа установлен, однако параметры канала радиодоступа с учетом взаимного удаления базовых и абонентских станций, условий распространения радиоволн и коллизий сообщений в общем канале не определены.

Технико-экономическая эффективность единой сети сбора и обработки данных АСУТП обусловлена последовательно принимаемыми решениями в процессе ее проектирования (рис. 2). Вы-

делим в последовательности этапов проектирования в соответствии с принципами построения сетей передачи данных и уровнями ЭМВОС (физический, каналный, сетевой) на каждом l -м уровне множество вариантов решения $\mathbf{u} = (u_1, \dots, u_l) \in U$ и множество состояний $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_l) \in X$, характеризующих структуру ЕССОД, а также процессы сбора и обработки данных в ней.

Глобальное решение по построению ЕССОД в сегменте радиодоступа [3] определяется множеством параметров многоуровневой структуры проектирования

$$\mathbf{u} = \{u_1, u_2, u_3\} \in U, \quad U = U_1 \times U_2 \times U_3,$$

$u_l \in U_l, l = 1, 2, 3$ – подмножества, определяющие количество базовых станций ЛРС N_{bc} и места их размещения LP_{bc} (географические координаты), параметры радиоканала по символьной скорости R_c (симв/с), позиционности модуляции M , скорости помехоустойчивого кодирования R_k , параметры протокола сбора и обработки данных в канале радиодоступа по объему сообщения датчика D (бит) и вероятности повторной передачи данных β

$$u_1 = \{N_{bc}, P_n\}, \quad u_2 = \{R_c, M, R_k, D\}, \quad u_3 = \{\beta\}.$$

Глобальное состояние ЕССОД в сегменте радиодоступа

$$\mathbf{x} = \{x_1, x_2, x_3\} \in X, \quad X = X_1 \times X_2 \times X_3,$$

где $x_l \in X_l, l = 1, 2, 3$ – подмножества, определяющие состояние процессов сбора и обработки по количеству подключаемых активных источников данных (датчиков АСУТП ЖКХ) N , качеству

связи, т.е. отношению сигнал/шум $\frac{P_s}{P_n}$ и задолженности n в канале радиодоступа, т.е. количеству источников, повторно передающих данные,

$$x_1 = \{N\}, \quad x_2 = \left\{ \frac{P_s}{P_n} \right\}, \quad x_3 = \{n\}.$$

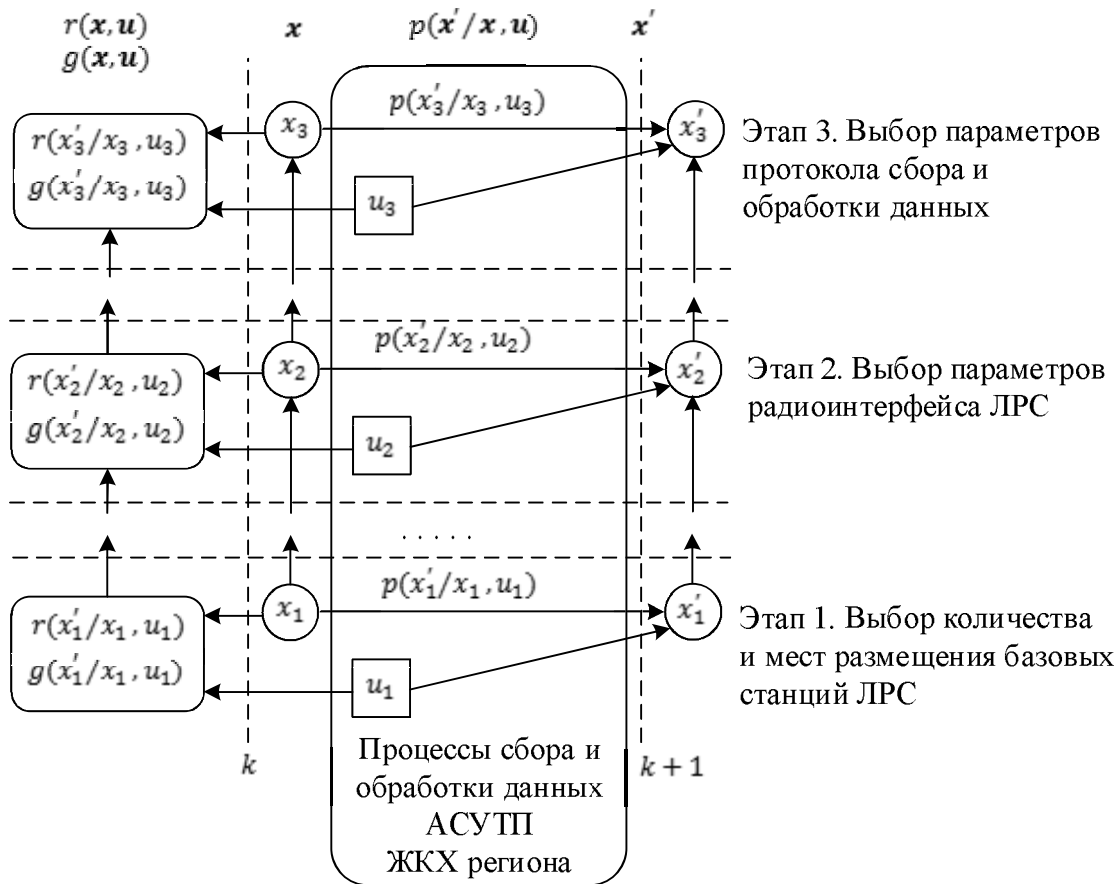


Рис. 2. Трехэтапная структура модели марковского процесса принятия решений

Выбор тех или иных решений на каждом этапе проектирования определит в конечном итоге технико-экономическую эффективность ЕССОД, оцениваемую производительностью ЕССОД в показателях интенсивности обрабатываемых сообщений (сообщ/с) в расчетах на удельную проектную стоимость (руб.)

$$\rho = \frac{R_c R_R \log_2 M (1 - p_{\text{пот}}) S}{DC_{\text{бс}} N_{\text{бс}}}, \quad (1)$$

где $C_{\text{бс}}$ – стоимость оборудования одной базовой станции (руб.), $p_{\text{пот}}$ – вероятность потерь сообщения в радиоканале вследствие низкого качества связи, S – производительность протокола случайного доступа, определяемая количеством успешно обработанных сообщений источников.

Характер изменения состояний процессов сбора и обработки является случайным. Однако динамика состояний моделируемых процессов в справедливом предположении о ее стационарности может быть описана в терминах марковских процессов принятия решений (МППР). Важно и

то, что для последовательных этапов проектирования вероятностная динамика состояний марковских процессов принятия решений на последующих этапах определяется вероятностным распределением состояний и принимаемыми решениями предыдущих этапов [4]

$$p(x'/x, u) = \prod_{l=1}^L p(x'_l/x_l, x'_{1 \rightarrow l-1}, u_l),$$

где $x'_{1 \rightarrow L} = (x'_1, \dots, x'_L)$ – ожидаемые состояния моделируемых процессов сбора и обработки данных, заданные в стационарном случае известной вероятностной мерой – матрицей переходов $p(x'_l/x_l, u_l)$

$$p: X_l \times U_l \times X_l \mapsto [0,1], \quad l = 1, L.$$

С каждым из последовательных этапов проектирования ЕССОД связаны условные по состояниям и управлениям в терминах марковских процессов принятия решений доходы $r(x'/x, u)$ и затраты $g(x'/x, u)$, устанавливающие технико-

экономическую эффективность ρ ЕССОД. Функционал (1) для многоуровневой структуры процесса принятия решений на основании свойств логарифмирования может быть представлен в аддитивном виде по компонентам каждого из этапов

$$R(\mathbf{x}, \mathbf{u}) = \sum_{l=1}^L r_l(x_l, u_l) - \sum_{l=1}^L \lambda_l^g g_l(x_l, u_l), \quad (2)$$

для которого в дальнейшем могут быть уточнены его определяющие свойства, необходимые для целей оптимизации процесса построения ЕССОД

$$\max_{\mathbf{u}} V(\mathbf{x}, \mathbf{u}) = \sum_{x'} p(x'/x, u) R(\mathbf{x}, \mathbf{u}), \quad (3)$$

$$V_k^*(\mathbf{x}) = \max_{u \in \prod_{l=1}^L u_l} \left(R(\mathbf{x}, \mathbf{u}) + \beta \sum_{x' \in X} p(x'/x, \mathbf{u}) V_{k-1}^*(x') \right), \quad (4)$$

где $x' = (x'_1, x'_2, \dots, x'_L) \in X$ – ожидаемые состояния процесса информационного обмена и совместные решения $u = (u_1, u_2, \dots, u_L) \in U$ на этапах проектирования, k – номер шага, β – коэффициенты дисконтирования.

Явные свойства многоуровневого марковского процесса принятия решений с вероятностной динамикой, определяемой условной зависимостью динамики состояний процессов последующих этапов проектирования от вероятностного

$$p(x'/x, \mathbf{u}) = p(x'_1/x_1, u_1) p(x'_2/x_2, x'_1, u_2) \dots p(x'_L/x_L, x'_{1 \rightarrow L-1}, u_L) \quad (5)$$

и функции условных доходов

$$V_{l-1} = f(x_l, u_l, V_l), \quad l = \overline{1, L}$$

многоуровневого последовательного процесса принятия решений, позволяет представить функ-

где λ_l^g – удельные коэффициенты, устанавливающие соответствие между показателями производительности и проектной стоимости.

Предложим и реализуем подход, обеспечивающий возможность на каждом этапе принятия решения, используя межуровневый обмен, принимать локально оптимальные решения, согласованные в рамках глобальной оптимизационной задачи [3]. Учет межуровневых взаимодействий осуществляется в рамках текущей многоуровневой структуры процесса принятия решений для нахождения оптимального значения функционала динамического программирования

распределения состояний и принимаемых решений на предыдущих этапах, свидетельствуют о важности применения многоуровневой модели для согласования проектных решений для нахождения компромисса между производительностью и проектной стоимостью ЕССОД АСУТП ЖКХ региона.

Справедливость декомпозиции условных вероятностей

ционал динамического программирования, оптимизируемый совместными управлениями $u \in U$ в следующем виде:

$$V_k^*(x, u) = \max_{u \in U} \left(r_1(x_1, u_1) - \sum_{l=2}^L g_l(x_l, u_l) - \sum_{l=1}^L \lambda_l^g g_l(x_l, u_l) + \beta \sum_{x' \in X} \prod_{l=1}^L p(x'_l/x_l, x'_{1 \rightarrow l-1}, u_l) V_{k-1}^*(x') \right). \quad (6)$$

Учитывая условие нормировки переходных вероятностей по состояниям, предложена процедура вычисления оптимального значения целевой функции (6) на каждой итерации поиска и оптимальной стратегии в обратной прогонке.

В начальный момент времени, предшествующий выполнению оптимизационной процедуры, каждый из предыдущих этапов проектирования $l \in \{1, \dots, L-1\}$ формирует информацию о технико-экономической эффективности $\theta_{l-1, l} = \{\mathbb{Q}_{l-1}(\mathbf{x})\}$

$$\mathbb{Q}_{l-1}(\mathbf{x}) = \{\rho_l | \rho_l = f_l(x_l, u_l, \rho_{l-1})\}, \quad (7)$$

$$\forall x_{l \rightarrow L} \in X_{l \rightarrow L}, \forall u_{l \rightarrow L} \in U_{l \rightarrow L},$$

где ρ_l – удельная производительность ЕССОД (1) и функции преобразования $f_l(x_l, u_l, \rho_{l-1})$ определены разработанными математическими моделями в [3].

Функции условных доходов на последующем этапе проектирования могут быть определены по значениям ρ_l , рекуррентно пересчитанным с учетом принимаемых решений на предыдущем этапе (рис. 3).

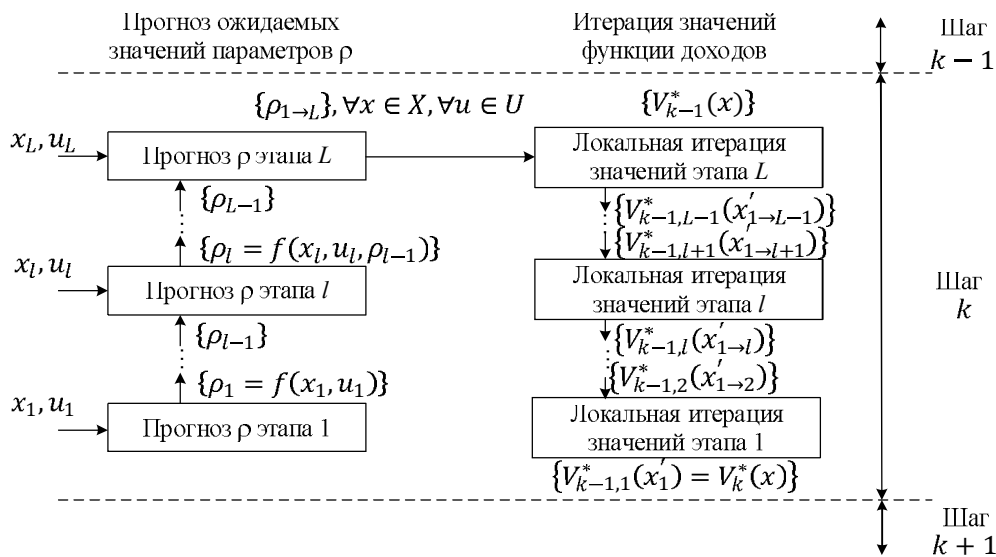


Рис.3. Принцип координации межуровневых взаимодействий при последовательном принятии решений

Учитывая, что значения удельной производительности ЕССОД на предыдущих этапах не зависят от прогнозируемых состояний процессов

на последующих, а также условие нормировки переходных вероятностей по состояниям

$$\sum_{x'_{1 \rightarrow l} \in X_{1 \rightarrow l}} \prod_{l=1}^L p(x'_l/x_l, x'_{1 \rightarrow l-1}, u_l) = 1, \tag{8}$$

выражение (6) можем представить в следующем виде:

$$V_k^*(x) = \max_{u_{1 \rightarrow L-1} \in U_{1 \rightarrow L-1}} \left\{ \begin{aligned} & r_1(x_1, u_1) - \sum_{l=2}^{L-1} g_l(x_l, u_l) - \sum_{l=1}^{L-1} \lambda_l^g g_l(x_l, u_l) \\ & + \beta \sum_{x'_{1 \rightarrow L-1} \in X_{1 \rightarrow L-1}} \prod_{l=1}^{L-1} p(x'_l/x_l, x'_{1 \rightarrow l-1}, u_l) V_{k-1, L-1}^*(x'_{1 \rightarrow L-1}) \end{aligned} \right\}. \tag{9}$$

Таким образом, выбор решения с оценкой удельной производительности на предыдущем этапе обеспечит максимизацию функции $V_k^*(x)$ на локальной итерации. Правая часть данного

выражения – локальная итерация стратегий на этапе L для всех $x_{1 \rightarrow L-1} \in X_{1 \rightarrow L-1}$ и $u_{1 \rightarrow L-1} \in U_{1 \rightarrow L-1}$

$$V_{k-1, L-1}^*(x'_{1 \rightarrow L-1}) = \max_{u_L \in U_L} \left\{ \begin{aligned} & -g_L(x_L, u_L) - \lambda_L^g g_L(x_L, u_L) + \\ & \sum_{x'_L \in X_L} p(x'_L/x_L, u_L, x'_{1 \rightarrow L-1}) V_{k-1}^*(x'_1, \dots, x'_L) \end{aligned} \right\}. \tag{10}$$

Оптимальные решения $u_L^*(x'_1, \dots, x'_L)$

$$u_L^* = \arg \max_{u_L \in U_L} V_{k-1, L-1}^*(x'_{1 \rightarrow L-1})$$

зависят от ожидаемых состояний последующих этапов. После выполнения этапом L локальной

оптимизации для каждого состояния x'_1, \dots, x'_{L-1} формируются решения $\{V_{k-1, L-1}^*(x'_1, \dots, x'_{L-1}), u_L^* | \forall (x'_1, \dots, x'_{L-1})\}$ к предыдущему этапу $L-1$, снижая таким образом размерность функционала Беллмана:

$$V_k^*(x) = \max_{u_{1 \rightarrow L-2} \in U_{1 \rightarrow L-2}} \left\{ \begin{aligned} & r_1(x_1, u_1) - \sum_{l=2}^{L-2} g_l(x_l, u_l) - \sum_{l=1}^{L-2} \lambda_l^g g_l(x_l, u_l) + \\ & \sum_{x'_{1 \rightarrow L-2} \in X_{1 \rightarrow L-2}} \prod_{l=1}^{L-2} p(x'_l/x_l, x'_{l-1}, u_l) V_{k-1, L-2}^*(x'_{1 \rightarrow L-2}) \end{aligned} \right\}, \tag{11}$$

где

$$V_{k-1,L-2}^* = \max_{u_{L-1} \in U_{L-1}} \left\{ \sum_{x'_{L-1} \in X_{L-1}} -g_{L-1}(x_{L-1}, u_{L-1}) - \lambda_{L-1}^g g_{L-1}(x_{L-1}, u_{L-1}) + p(x'_{L-1}/x_{L-1}, x'_{1 \rightarrow L-2}, u_{L-1}) V_{k-1,L-1}^*(x'_1, \dots, x'_{L-1}) \right\}. \quad (12)$$

Укажем на то, что компоненты удельной производительности $\rho_l = f(x_l, u_l, \rho_{l-1})$ не зависят от ожидаемых состояний $x'_{l+1 \rightarrow L} \in X_{l+1 \rightarrow L}$, а

для состояний $\overline{1, L-1}$ справедливо условие нормировки по вероятности

$$\sum_{x'_{1 \rightarrow L-2} \in X_{1 \rightarrow L-2}} \prod_{l=1}^{L-1} p(x'_l/x_l, x'_{1 \rightarrow L-2}, u_l) = 1. \quad (13)$$

Таким образом, аналогично равенству выражение (11) для локальной итерации стратегий для

всех состояний $x'_{1 \rightarrow l} \in X_{1 \rightarrow l}$ функционала Беллмана имеет вид

$$V_k^*(x) = \max_{u_{1 \rightarrow l-1} \in U_{1 \rightarrow l-1}} \left\{ r_1(x_1, u_1) - \sum_{l=2}^{l-1} g_l(x_l, u_l) - \sum_{l=1}^{l-1} \lambda_l^g g_l(x_l, u_l) + \beta \sum_{x'_{1 \rightarrow l-1} \in X_{1 \rightarrow l-1}} \prod_{l=1}^{l-1} p(x'_l/x_l, x'_{l-1}, u_l) V_{k-1,l-1}^*(x'_{1 \rightarrow l-1}) \right\}, \quad (14)$$

где $V_{k-1,l-1}^*(x'_{1 \rightarrow l-1})$ – результат локальной итерации стратегий на этапе l для всех ожидаемых состояний $x'_{1 \rightarrow l-1} \in X_{1 \rightarrow l-1}$, которые переданы от этапа l к этапу $l-1$, т. е. $\{V_{k-1,l-1}^*(x'_1, \dots, x'_{l-1}) | \forall (x'_1, \dots, x'_{l-1})\}$.

Для каждого следующего состояния на предыдущих этапах (x'_1, \dots, x'_l) функционал динамического программирования Беллмана на этапе l вычисляется как

$$V_{k-1,l-1}^* = \max_{u_l \in U_l} \left\{ -g_l(x_l, u_l) - \lambda_l^g g_l(x_l, u_l) + \sum_{x'_l \in X_l} p(x'_l/x_l, x'_{1 \rightarrow l-1}, u_l) V_{k-1,l}^*(x'_1, \dots, x'_l) \right\}. \quad (15)$$

От этапа l к этапу $l-1$ проектирования формируется решение

Окончательно для локальной итерации стратегии этапа 1

$$\{V_{k-1,l-1}^*(x'_1, \dots, x'_{l-1}) | \forall (x'_1, \dots, x'_{l-1})\}.$$

$$V_k^*(x) = \max_{u_1 \in U_1} \left\{ r_1(x_1, u_1) - \lambda_1^g g_1(x_1, u_1) + \beta \sum_{x'_1 \in X_1} p(x'_1/x_1, u_1) V_{k-1,1}^*(x'_1) \right\}, \quad (16)$$

где $\theta_{L-1,1} = \{V_{k-1,1}^*(x'_1)\}$ и $V_k^*(x)$ становятся входными переменными для локальной итерации стратегий этапа 1 на следующем шаге $k+1$.

максимальной производительности уже на начальных этапах выбора решений по протоколам радиointерфейса общих каналов доступа, а последующий выбор параметров протоколов канального и сетевого уровней лишь подтверждает правильно выбранную стратегию поиска локально оптимальных решений.

Отметим, в результате декомпозиции процесса оптимизации значение целевой функции V_k^* будет сходиться к оптимальному V^* при $k \rightarrow \infty$.

Реализация предложенного многоуровневого согласования проектных решений при построении единой сети сбора и обработки данных АСУТП ЖКХ позволила устранить сложности вычислительного характера в выборе вариантов построения ЕССОД большой размерности. Однако получение глобально оптимального решения требует для проектировщиков ЕССОД знания полной априорной информации о динамике

Локальная итерация стратегий определяет оптимальные решения на каждом этапе, обеспечивающие максимальные значения функции удельной производительности ЕССОД, основываясь на локальных моделях их динамики [5].

На рисунке 4 представлена динамика изменения показателя удельной производительности ЕССОД в процессе выбора локально оптимальных решений при проектировании. Из результатов сравнительного анализа с существующими подходами к проектированию следует, что предлагаемая методика (поз. 1) позволяет достичь

работы сетевых протоколов и радиоканала обмена данными по всему пространству состояний и управлений.

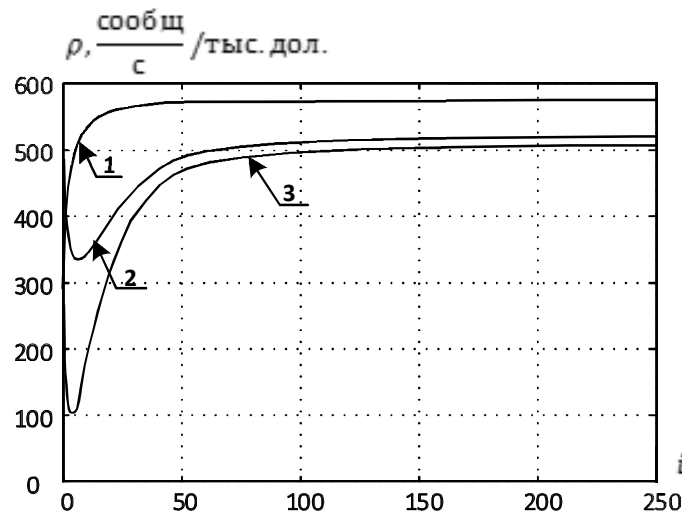


Рис. 4. Удельная производительность ЕССОД по итерациям поиска

Вывод. Основой для согласования проектных решений по каждому этапу построения систем сбора и обработки данных АСУТП, является многоуровневая марковская модель. В рамках оптимизации процессов принятия решений в многоуровневой структуре проектирования ЕССОД предложена аддитивная форма записи функционала Беллмана (6) для удельной производительности ЕССОД (1), позволяющая снизить размерность решения задачи обоснования проектных решений.

Декомпозиция предложенной формы записи функционала Беллмана позволила в дальнейшем развить подход, основанный на иерархической структуре моделей условно зависимых последовательных процессов принятия решений и обосновать вариант построения ЕССОД, обладающий потенциально высокой технико-экономической эффективностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Диспетчеризация объектов ЖКХ [электронный ресурс]. Систем. требования:

AdobeAcrobatReader.

<http://i.cons-systems.ru/u/f6/12a1b6510911e3ba2112b5f3284aaa/-/Диспетчеризация%20объектов%20ЖКХ.pdf>

2. Афонин С.И., Еременко В.Т., Кузьмина Л.В., Офицеров А.И., Плащенков Д.А. Методы решения задач распределения информационных потоков в сетях передачи данных предприятия на основе резервирования ресурсов // Информационные системы и технологии. 2012. №1. С. 78–84.

3. Илюхин А.А., Попов В.В. Многоуровневая марковская модель процессов информационного обмена в системе сбора и обработки данных автоматизированной системы управления жилищно-коммунального хозяйства региона // Информационные системы и технологии. 2016. №6. С. 70–77.

4. Тихонов В.И., Миронов М.А. Марковские процессы. М.: Сов. Радио, 1977. 488 с.

5. Жиров В.А., Поляков А.В. Управление передачей сообщений в системе с общим ресурсом // Системы связи: анализ, синтез, управление; Под ред. В.М. Терентьева. СПб.: Тема, 1999. С. 57–70.

Eremenko V.T., Ilyukhin A.A., Popov V.V.

TECHNIQUE OF MULTI-LEVEL COORDINATION OF PROJECT DECISIONS IN CASE OF CREATION OF THE SINGLE NETWORK OF COLLECTION AND DATA HANDLING OF THE REGIONAL INDUSTRIAL CONTROL SYSTEM OF HOUSING AND PUBLIC UTILITIES

The technical and economic efficiency of networks of collection and data handling of automated process control systems is caused by serial decisions in the course of its design. In article the technique of multi-level coordination of project decisions in case of creation of a network of collection and data handling on the basis of model of multi-level Markov decision-making process with probable dynamics of statuses is offered. At the same time the possibility of decision-making at each stage taking into account the interlevel interactions coordinated within the decision of the global optimization task is provided.

Keywords: network of collection and data handling, multiple model, Markov process, interlevel interaction, Bellman's functionality

Ерёменко Владимир Тарасович, доктор технических наук, профессор кафедры информационной безопасности.
Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева.
Адрес: Россия, 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 40, каб. 618.
E-mail: wladimir@orel.ru

Илюхин Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент.
Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации.
Россия, 302020, г. Орел, Приборостроительная, 35.
E-mail: ilyukhin.orel@mail.ru

Попов Вячеслав Васильевич, сотрудник.
Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации.
Россия, 302020, г. Орел, Приборостроительная, 35.
E-mail: ilyukhin.orel@mail.ru