

УДК 330.46:004.021

*А. А. Попов*

ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова»,  
Москва, e-mail: a1710p@mail.ru

## **ТРАНСФОРМАЦИЯ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА В УСЛОВИЯХ ЧЕТВЕРТОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕВОЛЮЦИИ**

**Ключевые слова:** жилищно-коммунальное хозяйство, система управления, промышленная революция, цифровая трансформация, алгоритм.

Статья посвящена исследованиям в области цифровой трансформации жилищно-коммунального хозяйства. Целями работы являются совершенствование системы поддержки принятия решений для рационализации управления жилищно-коммунальным хозяйством, а также совершенствование методов формализованного представления процесса трансформации модели системы управления жилищно-коммунальным хозяйством. Модель системы управления жилищно-коммунального хозяйства имеет в составе шесть компонентов. Разработана схема трансформации модели системы управления жилищно-коммунального хозяйства. Схема состоит из пяти секторов, соответствующих этапам жизненного цикла компонентов модели системы управления, по аналогии со спиральной моделью жизненного цикла программного обеспечения. Разработан алгоритм определения условий трансформации модели системы управления жилищно-коммунальным хозяйством. Алгоритм позволяет определять соответствие модели системы управления требуемой волне цифровизации. Работа алгоритма предусматривает возможность трансформации модели системы управления как в сторону уменьшения степени цифровизации, так и в сторону ее увеличения.

*А. А. Попов*

Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, e-mail: a1710p@mail.ru

## **TRANSFORMATION OF THE HOUSING AND UTILITY MANAGEMENT SYSTEM MODEL IN THE CONDITIONS OF THE FOURTH INDUSTRIAL REVOLUTION**

**Keywords:** housing and communal services, municipal solid waste, collection and transportation, information system, apartment building, software module, algorithm.

The article is devoted to research in the field of digital transformation of housing and communal services. The objectives of the work are to improve the decision-making support system to rationalize the management of housing and communal services, as well as to improve the methods of formalized representation of the transformation process of the model of the management system of housing and communal services. The Housing and Utilities Management System Model has six components. The scheme of transformation of the model of the management system of housing and communal services has been developed. The diagram consists of five sectors corresponding to the life cycle stages of the components of the management system model, by analogy with the spiral model of the software life cycle. An algorithm for determining the conditions for transforming the model of the housing and communal services management system has been developed. The algorithm makes it possible to determine the conformity of the control system model to the required wave of digitalization. The operation of the algorithm provides for the possibility of transforming the model of the control system both in the direction of reducing the degree of digitalization and in the direction of increasing it.

### **Введение**

Переход к четвертой промышленной революции является важным фактором, влияющим на функционирование жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ). Наличие такого фактора приводит к необходимости трансформации системы управления (СУ) ЖКХ за счет использования цифровых информационных сервисов. Отметим, что существующая в настоящее время модель СУ

ЖКХ соответствует второй волне цифровой трансформации в рамках четвертой промышленной революции [1]. Таким образом, функционирование ЖКХ соответствует некоторому «промежуточному состоянию» между третьей и четвертой промышленной революцией. Третья промышленная революция позволила провести переход в сфере ЖКХ от ручного управления к автоматическому управлению. В результате такого

перехода в сфере ЖКХ появилась возможность управлять ходом выполнения работ и оказания услуг из единого центра с помощью информационных систем и единого информационного пространства (ЕИП) ЖКХ. Примером воздействия третьей промышленной революции на сферу ЖКХ является использование в сфере ЖКХ нескольких типов информационных систем, не предусматривающих использование облачных технологий и устройств Интернета вещей [2]. В соответствии с [2] использование информационных систем третьего и третьего «плюс» типов соответствует первой волне цифровизации, использование информационных систем четвертого типа соответствует второй волне цифровизации, а использование информационных систем пятого типа соответствует третьей волне цифровизации. Четвертая промышленная революция предусматривает использование цифровых систем (киберфизических систем) при выполнении работ и оказании услуг в сфере ЖКХ [3], которые с помощью контроллеров объединяют в единую систему объекты окружающего мира с искусственно созданными подсистемами. Внедрение таких систем в систему управления ЖКХ соответствует совершенствованию ЖКХ в соответствии с требованиями программы «Цифровая экономика» [4]. Переход от третьей к четвертой промышленной революции описан с помощью «аналогов» цифровой экономики, описывающих «промежуточные состояния». К таким «промежуточным состояниям» можно отнести [5] электронно-цифровую экономику, сетевую экономику («викиномику»), интернет-экономику (Internet Economy, Network Economy). Электронно-цифровая экономика [6] предусматривает (применительно к организациям по управлению ЖКХ): взаимодействие сотрудников организаций в сфере ЖКХ и жильцов с помощью информационных технологий, наличие целостной ИТ-инфраструктуры в организации в сфере ЖКХ, наличие компьютерных сетей между организациями в сфере ЖКХ, то есть, наличие ЕИП (расширенные предприятия), представление объектов инфраструктуры ЖКХ в электронном виде. Понятие «викиэкономика» («сетевая экономика») [7] соответствует объединению в единый информационный ресурс (ЕИП) разнородных знаний о работе ЖКХ. Управление единым информационным ресурсом производится с использованием глобальной

платформы, которая предоставляет возможность работы с едиными мощностями для хранения информации, а также единые вычислительные мощности. Применительно к управлению ЖКХ понятие «викиэкономика» означает использование «облачных» информационных систем [2]. Интернет-экономика [8] представляет собой глобальную сетевую многоуровневую структуру для взаимоотношений экономических субъектов с использованием сети Интернета. Первый этап Интернет-экономики позволил объединить компьютеры через телефонную сеть или локальную вычислительную сеть. Автоматизация на данном этапе (применительно к сфере ЖКХ) соответствует организации сети между автоматизированными рабочими местами сотрудников в организации в сфере ЖКХ с использованием телефонной сети. Второй этап Интернет-экономики заключается в создании электронной среды для работы с различными информационными сервисами с использованием сети Интернет. Применительно к ЖКХ это соответствует работе пользователей (сотрудников организаций в сфере ЖКХ и жильцов) с информационными сервисами с помощью web-сервисов и облачных технологий. Третий этап Интернет-экономики заключается в использовании технологии Интернета вещей. Применительно к управлению ЖКХ это приводит к появлению в контуре управления ЖКХ новых, «неодушевленных» пользователей, в качестве которых выступают устройства Интернета вещей. При этом, два предыдущих этапа предусматривали наличие в контуре управления только «одушевленных» пользователей (сотрудники предприятий в сфере ЖКХ и жильцы многоквартирных домов). В основе перехода от управления ЖКХ, соответствующего третьей промышленной революции, к «цифровому ЖКХ», соответствующему четвертой промышленной революции, лежит цифровая трансформация ЖКХ. Для её осуществления должны быть выполнены условия, приведенные в [4].

В некоторый момент времени  $z_1$  ( $z_1=1, 2, \dots, Z$ ) системе управления ЖКХ соответствует модель  $UPRSYST(z_1)$ . В момент времени  $z_2$  ( $z_2=1, 2, \dots, Z; z_2 \neq z_1$ ) системе управления ЖКХ соответствует модель  $UPRSYST(z_2)$ . При этом модели  $UPRSYST(z_1)$  и  $UPRSYST(z_2)$  могут соответствовать, но могут и не соответствовать одной волне цифровизации в рамках чет-

вертой промышленной революции [1]. Также модели могут не соответствовать одной и той же промышленной революции. Таким образом, представляет интерес рассмотрение вопросов, связанных с определением условий трансформации моделей СУ ЖКХ, соответствующих различным волнам цифровизации. Задача, решаемая в работе, состоит в разработке алгоритма определения условий трансформации модели СУ ЖКХ для достижения третьей волны цифровизации ЖКХ (в рамках четвертой промышленной революции). Объектом исследования является ЖКХ. Предметом исследования является процесс трансформации модели СУ ЖКХ в рамках цифровизации ЖКХ. Целями данной работы является совершенствование системы поддержки принятия решений для рационализации управления сферой ЖКХ, а также совершенствование методов формализованного представления процесса трансформации модели СУ ЖКХ. Работа выполнена в рамках научной специальности 08.00.13 «Математические и инструментальные методы экономики».

**Теоретические основы для формирования алгоритма определения условий трансформации модели системы управления ЖКХ**

Модель СУ ЖКХ в  $z$ -й момент времени содержит несколько компонентов и имеет вид [9, 10]:

$$\begin{aligned} UPRSYST(z) &= \{uprsyst_{isu}(z); isu=1,2,\dots,6\} = \\ &= \{TARG(z), PRORG(z), MALGIT(z), \\ &FSU(z), ABON(z), UIS(z)\}. \end{aligned}$$

В [10] более подробно раскрыто содержание и описан смысл компонентов СУ ЖКХ. Для совершенствования СУ ЖКХ необходимо решать задачу трансформации компонентов с учетом использования цифровых технологий для управления ЖКХ. Решение такой задачи соответствует задачам, которые должны решаться в рамках цифровой трансформации экономики России [4]. В качестве примеров могут быть рассмотрены решения задач цифровой трансформации в следующих сферах экономики: в управлении строительной отраслью [11], в управлении железными дорогами [12], в управлении городами [13], в управлении энергетикой [14], в управлении противопожарными службами [15].

Цифровая трансформация ЖКХ может быть представлена в виде, приведенном

на рис. 1. На рис. 1 приведено пять секторов, соответствующих этапам жизненного цикла компонентов для модели СУ ЖКХ (по аналогии со спиральной моделью жизненного цикла программного обеспечения). Внутри каждого сектора располагаются слои, соответствующие приведенным ранее компонентам модели СУ ЖКХ. Ожидания и предпочтения абонентов ЕИП ЖКХ влияют на технологии работы не только «внутри» организаций в сфере ЖКХ, но и на работу сторонних организаций (тех организаций, которые не участвуют напрямую в управлении ЖКХ, но при этом косвенно влияют на работу ЖКХ). Внутри каждого слоя расположены стрелки, показывающие развитие данного слоя во время данного этапа жизненного цикла. Стрелки между слоями обозначают взаимное влияние компонентов СУ ЖКХ друг на друга в процессе этапа жизненного цикла. В середине схемы находится компонент  $ABON(z)$  модели СУ ЖКХ. Такое расположение компонента обозначает определяющую роль учета особенностей и потребностей абонентов ЕИП ЖКХ. Сектор «Анализ» позволяет понять направления совершенствования сервисов и услуг в ЖКХ с учетом постоянно меняющихся потребностей и особенностей абонентов ЕИП ЖКХ. На данном этапе формируется состав компонентов модели системы управления ЖКХ, который фиксируется для остальных этапов жизненного цикла СУ ЖКХ. Сектор «Определение стратегии (планирование)», приведенный на рис. 1, предназначен для корректировки целей и стратегии для перехода к «цифровому» управлению в ЖКХ. Такой переход в соответствие с [1] характеризуется тремя волнами цифровизации. Во время данного этапа производятся изменения в стратегии управления ЖКХ, а также в организационных структурах и методах управления организациями в сфере ЖКХ (то есть, создаются новые и совершенствуются имеющиеся стандарты, законы, нормы и правила, используемых для управления в сфере ЖКХ). Секторы «Проектирование» и «Разработка» позволяют получить скорректированные с учетом цифровизации ЖКХ компоненты  $TARG(z)$ ,  $PRORG(z)$ ,  $MALGIT(z)$ ,  $FSU(z)$ ,  $ABON(z)$ ,  $UIS(z)$  для модели системы управления ЖКХ. При этом модель СУ ЖКХ сконцентрирована на удовлетворение требований абонентов ЕИП ЖКХ. Сектор «Учет изменений и внедрение» предусматривает, что

для соответствия СУ ЖКХ одной из волн цифровизации ее компоненты в момент  $z+\Delta z$  окончания витка жизненного цикла модели СУ ЖКХ должны быть согласованными между собой и адаптированными к потребностям и особенностям абонентов ЕИП ЖКХ ( $\Delta z$  – длительность жизненного цикла компонентов СУ ЖКХ). Без проведения коррекции существующих компонентов СУ ЖКХ и взаимной их адаптации будут происходить «разрывы» адаптации между секторами и между слоями внутри

секторов (рис. 1). Вследствие таких «разрывов» адаптации не будет обеспечиваться взаимная согласованность компонентов СУ ЖКХ, а также их адаптация к потребностям и особенностям пользователей ЕИП ЖКХ. В результате будет происходить «откат» модели СУ ЖКХ к состоянию, которому соответствует отсутствие «разрывов».

Таким образом, «разрывы» адаптации свидетельствуют о необходимости перехода СУ ЖКХ в состояние, соответствующее более низкой волне цифровизации.

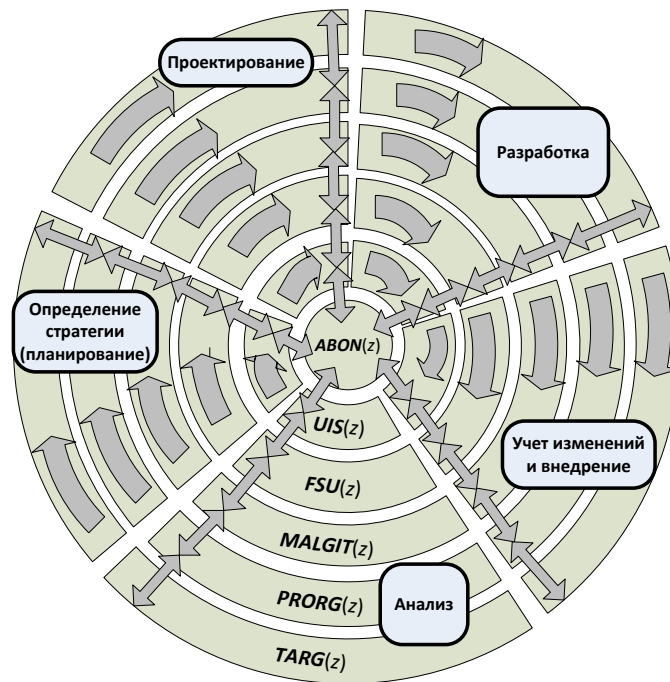


Рис. 1. Схема, отображающая трансформации модели системы управления ЖКХ

Каждой волне цифровизации ЖКХ в момент времени  $z$  соответствуют пороговые значения параметров, характеризующих компоненты модели СУ ЖКХ:

$$P\_TARG(z) = \{p\_targ(z, 1), p\_targ(z, 2), p\_targ(z, 3)\}$$

$$P\_PRORG(z) = \{p\_prorg(z, 1), p\_prorg(z, 2), p\_prorg(z, 3)\}$$

$$P\_MALGIT(z) = \{p\_malgit(z, 1), p\_malgit(z, 2), p\_malgit(z, 3)\}$$

$$P\_FSU(z) = \{p\_fsu(z, 1), p\_fsu(z, 2), p\_fsu(z, 3)\}$$

$$P\_ABON(z) = \{p\_abon(z, 1), p\_abon(z, 2), p\_abon(z, 3)\}$$

$$P\_UIS(z) = \{p\_uis(z, 1), p\_uis(z, 2), p\_uis(z, 3)\}.$$

Значения параметров изменяются от 0 до 1. Пороговые значения для первой волны цифровизации больше нуля, пороговые значения для второй волны больше значений для первой волны, а пороговые

значения для третьей волны превышают пороговые значения для первой и второй волны. Пороговые значения формируются экспертами на этапе анализа (рис. 1). Для того чтобы определить, какой волне цифровиза-

ции соответствует СУ ЖКХ, определяют значения параметров, характеризующие текущие уровни развитости ее компонентов ( $T\_TARG$ ,  $T\_PRORG$ ,  $T\_MALGIT$ ,  $T\_FSU$ ,  $T\_ABON$ ,  $T\_UIS$ ). Значения параметров изменяются от 0 до 1. Значения параметров сравниваются с пороговыми значениями

из массивов  $P\_TARG(z)$ ,  $P\_PRORG(z)$ ,  $P\_MALGIT(z)$ ,  $P\_FSU(z)$ ,  $P\_ABON(z)$ ,  $P\_UIS(z)$ . Для получения значений параметров  $T\_TARG$ ,  $T\_PRORG$ ,  $T\_MALGIT$ ,  $T\_FSU$ ,  $T\_ABON$ ,  $T\_UIS$  используются массивы, характеризующие состояния компонентов модели в текущий момент времени  $z$ :

массив  $K\_TARG(z) = \{k\_targ_{itarg}(z); itarg=1, 2, \dots, ITARG(z)\}$  характеризует степени выполнения целей управления ЖКХ в текущий момент времени  $z$ ;

массив  $K\_PRORG(z) = \{k\_prorg_{iprorg}(z); iprorg=1, 2, \dots, IPRORG(z)\}$  характеризует состояния структур, реализующих производственные или организационные цели управления ЖКХ в текущий момент времени  $z$ ;

массив  $K\_MALGIT(z) = \{k\_malgit_{imalgit}(z); imalgit=1, 2, \dots, IMALGIT(z)\}$  характеризует методы, алгоритмы, стандарты, законы, нормы и правила, информационных технологии и устройства, используемые в  $z$ -й момент времени для управления ЖКХ;

массив  $K\_FSU(z) = \{k\_fsu_{ifsu}(z); ifsu=1, 2, \dots, IFSU(z)\}$  характеризует совокупность факторов, действующих на ЖКХ;

массив  $K\_ABON(z) = \{k\_abon_{iabon}(z); iabon=1, 2, \dots, IABON(z)\}$  характеризует пользователей ЕИП ЖКХ и их потребности;

массив  $K\_UIS(z) = \{k\_uis_{iuis}(z); iuis=1, 2, \dots, IUIS(z)\}$  характеризует ЕИП ЖКХ.

Каждый параметр принимает значение от 0 до 1 и показывает степень соответствия в момент времени  $z$  данного компонента состоянию, которое характеризует «идеальную» цифровизацию (в частности, ее третью волну). Значения параметров определяются экспертами на этапе «Анализ» в результате анализа состояний компонентов модели в текущий момент времени  $z$ . Каждый из массивов  $K\_TARG$ ,  $K\_PRORG$ ,  $K\_MALGIT$ ,  $K\_FSU$ ,  $K\_ABON$ ,  $K\_UIS$  содержат три части, соответствующие одной из трех волн цифровизации:

1. Первые части характеризуют набор параметров для первой волны цифровизации:

- параметры набора  $K\_TARG(z)$  с индексами от 1 до  $ITARG1$ ;
- параметры набора  $K\_PRORG(z)$  с индексами от 1 до  $IPRORG1$ ;
- параметры набора  $K\_MALGIT(z)$  с индексами от 1 до  $IMALGIT1$ ;
- параметры набора  $K\_FSU(z)$  с индексами от 1 до  $IFSU1$ ;
- параметры набора  $K\_ABON(z)$  с индексами от 1 до  $IABON1$ ;
- параметры набора  $K\_UIS(z)$  с индексами от 1 до  $IUIS1$ .

2. Вторые части характеризуют набор параметров для второй волны цифровизации:

- параметры набора  $K\_TARG(z)$  с индексами от  $ITARG1+1$  до  $ITARG2$ ;
- параметры набора  $K\_PRORG(z)$  с индексами от  $IPRORG1+1$  до  $IPRORG2$ ;
- параметры набора  $K\_MALGIT(z)$  с индексами от  $IMALGIT1+1$  до  $IMALGIT2$ ;
- параметры набора  $K\_FSU(z)$  с индексами от  $IFSU1+1$  до  $IFSU2$ ;
- параметры набора  $K\_ABON(z)$  с индексами от  $IABON1+1$  до  $IABON2$ ;
- параметры набора  $K\_UIS(z)$  с индексами от  $IUIS1+1$  до  $IUIS2$ .

3. Третьи части характеризуют набор параметров для третьей волны цифровизации:

- параметры набора  $K\_TARG(z)$  с индексами от  $ITARG2+1$  до  $ITARG(z)$ ;
- параметры набора  $K\_PRORG(z)$  с индексами от  $IPRORG2+1$  до  $IPRORG(z)$ ;
- параметры набора  $K\_MALGIT(z)$  с индексами от  $IMALGIT2+1$  до  $IMALGIT(z)$ ;
- параметры набора  $K\_FSU(z)$  с индексами от  $IFSU2+1$  до  $IFSU(z)$ ;
- параметры набора  $K\_ABON(z)$  с индексами от  $IABON2+1$  до  $IABON3$ ;
- параметры набора  $K\_UIS(z)$  с индексами от  $IUIS2+1$  до  $IUIS(z)$ .

Кроме этого, массив  $K\_ABON(z)$  имеет четвертую часть, которая содержит параметры с индексами от  $IABON3+1$  до  $IABON(z)$ , которые предназначены для проведения проверки согласованности между компонентами СУ ЖКХ и проверки «внутренней» согласованности компонента  $ABON(z)$ . По итогам

этапа «Анализ» заполняются только те части массивов, которые соответствуют волне цифровизации, для которой производится проверка. Значения параметров, характеризующих компоненты модели СУ ЖКХ, после окончания каждого из этапов жизненного цикла компонентов получают приращения:

$$\begin{aligned} \Delta K\_TARG &= \{\Delta k\_targ_{itarg}; itarg=1, 2, \dots, ITARG(z)\}; \\ \Delta K\_PRORG &= \{\Delta k\_prorg_{iprorg}; iprorg=1, 2, \dots, IPRORG(z)\}; \\ \Delta K\_MALGIT &= \{\Delta k\_malgit_{imalgit}\}; \\ \Delta K\_FSU &= \{\Delta k\_fsu_{ifsu}; ifsu=1, 2, \dots, IFSU(z)\}; \\ \Delta K\_ABON &= \{\Delta k\_abon_{iabon}; iabon=1, 2, \dots, IABON3\}; \\ \Delta K\_UIS &= \{\Delta k\_uis_{iuis}; iuis=1, 2, \dots, IUIS(z)\}. \end{aligned}$$

В результате уточненные значения равны:

$$\begin{aligned} K\_TARG_{yt}(z) &= K\_TARG(z) + \Delta K\_TARG \\ K\_PRORG_{yt}(z) &= K\_PRORG(z) + \Delta K\_PRORG \\ K\_MALGIT_{yt}(z) &= K\_MALGIT(z) + \Delta K\_MALGIT \\ K\_FSU_{yt}(z) &= K\_FSU(z) + \Delta K\_FSU \\ K\_ABON_{yt}(z) &= K\_ABON(z) + \Delta K\_ABON \\ K\_UIS_{yt}(z) &= K\_UIS(z) + \Delta K\_UIS. \end{aligned}$$

Решения о значениях приращений принимают эксперты по окончании каждого из этапов жизненного цикла модели системы управления ЖКХ.

На каждом этапе жизненного цикла проверяется согласованность компонентов с потребностями абонентов ЕИП ЖКХ (компонент  $ABON(z)$ ). При этом используются элементы массива  $K\_ABON(z)$  с индексами от  $IABON3+1$  до  $IABON(z)$ . Для проведения согласования компонентов с требованиями абонентов ЕИП ЖКХ используется массив значений критериев согласования  $TR = \{tr(itr); itr=1, 2, \dots, 6\}$ , где  $tr(1)$  – значение критерия согласованности между компонентами  $ABON(z)$  и  $TARG(z)$ ,  $tr(2)$  – значение критерия согласованности между компонентами  $ABON(z)$  и  $PRORG(z)$ ,  $tr(3)$  – значение критерия согласованности между компонентами  $ABON(z)$  и  $MALGIT(z)$ ,  $tr(4)$  – значение критерия согласованности между компонентами  $ABON(z)$  и  $FSU(z)$ ,  $tr(5)$  – значение критерия «внутренней» согласованности для компонента  $ABON(z)$  – между параметрами набора  $K\_ABON(z)$  с индексами  $IABON3+1$  до  $IABON(z)$  и параметрами на-

бора  $K\_ABON(z)$  с индексами, соответствующими рассматриваемой волне цифровизации,  $tr(6)$  – значение критерия согласованности между компонентами  $ABON(z)$  и  $UIS(z)$ . Значения критериев согласованности  $TR$  определяются экспертами на этапе «Анализ», а затем уточняются на каждом этапе (кроме этапа «Учет изменений и внедрения») с помощью массива  $\Delta TR = \{\Delta tr(itr); itr=1, 2, \dots, 6\}$ :  $TR_{yt} = TR + \Delta TR$ . В конце каждого этапа жизненного цикла (кроме этапа «Учет изменений и внедрения») производится «перезапись» элементов массива  $TR_{yt}$  в массив  $TR$ . Значения критериев согласованности находятся в диапазоне от 0 до 2 (в том числе, с учетом уточнений). Значения параметров из массивов  $K\_TARG(z)$ ,  $K\_PRORG(z)$ ,  $K\_MALGIT(z)$ ,  $K\_FSU(z)$ ,  $K\_ABON(z)$ ,  $K\_UIS(z)$  с индексами, соответствующими рассматриваемой волне цифровизации, попарно суммируются со значениями параметров из массива  $K\_ABON(z)$  с индексами  $IABON3+1$  до  $IABON(z)$ . Если значение суммы меньше значения соответствующего элемента массива  $TR$ , то компонент не согласуется с требованиями абонентов для рассматриваемой

мой волны цифровизации. В этом случае модель СУ ЖКХ не соответствует рассматриваемой волне цифровизации (то есть, возникает «разрыв» адаптации). Поэтому следует перейти к работе с параметрами, соответствующими волне цифровизации более низкого уровня. Если значения сумм больше, чем значения соответствующих элементов массива  $TR$ , то компоненты согласуются с требованиями абонентов, и для проверки согласованности на следующем этапе жизненного цикла используется та же модель СУ ЖКХ. Если не выполняется хотя бы одно условие при проверке согласованности компонентов с требованиями абонентов для первой волны цифровизации, то модель СУ ЖКХ пока что не достигла уровня, который соответствует четвертой промышленной революции.

Для проверки согласованности компонентов модели между собой значения параметров из массивов  $K\_TARG(z)$ ,  $K\_PRORG(z)$ ,  $K\_MALGIT(z)$ ,  $K\_FSU(z)$ ,  $K\_ABON(z)$ ,  $K\_UIS(z)$  с индексами, которые соответствуют рассматриваемой волне цифровизации, попарно сравниваются между собой. Для проведения согласования компонентов между собой используется матрица критериев согласования  $KR = \{kr(ikr, jtr); ikr, jtr = 1, 2, \dots, 6\}$ , где  $kr(1, 2)$  – значение критерия согласованности между компонентами  $TARG(z)$  и  $PRORG(z)$ ,  $kr(1, 3)$  – значение критерия согласованности между компонентами  $TARG(z)$  и  $MALGIT(z)$ ,  $kr(1, 4)$  – значение критерия согласованности между компонентами  $TARG(z)$  и  $FSU(z)$ ,  $kr(1, 5)$  – значение критерия согласованности между компонентами  $TARG(z)$  и  $ABON(z)$ , то есть, параметрами набора  $K\_ABON(z)$  с индексами от 1 до  $IABON3$ ,  $kr(1, 6)$  – значение критерия согласованности между компонентами  $TARG(z)$  и  $UIS(z)$ ,  $kr(2, 3)$  – значение критерия согласованности между компонентами  $PRORG(z)$  и  $MALGIT(z)$ ,  $kr(2, 4)$  – значение критерия согласованности между компонентами  $PRORG(z)$  и  $FSU(z)$ ,  $kr(2, 5)$  – значение критерия согласованности между компонентами  $PRORG(z)$  и  $ABON(z)$ , то есть, параметрами набора  $K\_ABON(z)$  с индексами от 1 до  $IABON3$ ,  $kr(2, 6)$  – значение критерия согласованности между компонентами  $PRORG(z)$  и  $UIS(z)$ ,  $kr(3, 4)$  – значение критерия согласованности между компонентами  $MALGIT(z)$  и  $FSU(z)$ ,  $kr(3, 5)$  – значение критерия согласованности между компонентами  $MALGIT(z)$  и  $ABON(z)$ , то есть, параметрами набора  $K\_ABON(z)$  с индексами от 1 до  $IABON3$ ,  $kr(3, 6)$  – значение критерия согласо-

ванности между компонентами  $MALGIT(z)$  и  $UIS(z)$ ,  $kr(4, 5)$  – значение критерия согласованности между компонентами  $FSU(z)$  и  $ABON(z)$ , то есть, параметрами набора  $K\_ABON(z)$  с индексами от 1 до  $IABON3$ ,  $kr(4, 6)$  – значение критерия согласованности между компонентами  $FSU(z)$  и  $UIS(z)$ ,  $kr(5, 6)$  – значение критерия согласованности между компонентами  $ABON(z)$ , то параметрами набора  $K\_ABON(z)$  с индексами от 1 до  $IABON3$  и  $UIS(z)$ . Отметим, что если  $ikr \leq jtr$ , то значение  $kr(ikr, jtr)$  равно нулю. Значения критериев согласованности между компонентами (элементы массива  $KR$ ) назначаются экспертами на этапе «Анализ». Значения критериев согласованности находятся в диапазоне от 0 до 2. Значения критериев уточняются на каждом этапе (кроме этапа «Учет изменений и внедрения») с помощью массива со значениями уточнений:

$$\Delta KR = \{\Delta kr(itr, jtr); itr, jtr = 1, 2, \dots, 6\}.$$

При этом  $KR_{yt} = KR + \Delta KR$ . Отметим, что значение  $\Delta kr(itr, jtr)$  равно нулю, если  $itr \leq jtr$ . В конце каждого этапа жизненного цикла (кроме этапа «Учет изменений и внедрения») производится «перезапись» элементов массива  $KR_{yt}$  в массив  $KR$ .

Для проверки согласованности компонентов между собой значения параметров одного из массивов  $K\_TARG(z)$ ,  $K\_PRORG(z)$ ,  $K\_MALGIT(z)$ ,  $K\_FSU(z)$ ,  $K\_ABON(z)$ ,  $K\_UIS(z)$  с индексами, которые соответствуют рассматриваемой волне цифровизации, попарно суммируются со значениями параметров из массива для другого компонента. Если значение суммы меньше значения соответствующего элемента массива  $KR$ , то возникает «разрыв» адаптации. Таким образом, не выполняется условие соответствия модели СУ ЖКХ рассматриваемой волне цифровизации. Поэтому необходимо перейти к работе с моделью, соответствующей волне цифровизации более низкого уровня. Если не выполняется хотя бы одно условие согласованности компонентов для первой волны цифровизации, то модель СУ ЖКХ пока что не достигла уровня, которое соответствует четвертой промышленной революции. Если значения всех сумм больше, чем значения всех соответствующих элементов массива  $KR$ , то компоненты согласуются между собой для рассматриваемой волны цифровизации. Поэтому для проверки согласованности компонентов модели СУ ЖКХ на следующем этапе жизненного цикла используется та же модель.

После определения согласованности компонентов с требованиями абонентов и согласованности компонентов между собой производится определение значений параметров  $T\_TARG$ ,  $T\_PRORG$ ,  $T\_MALGIT$ ,  $T\_FSU$ ,  $T\_ABON$ ,  $T\_UIS$ . Определение значений этих параметров производится на этапе «Учет изменений и внедрение»:

$$T\_TARG = \sum_{itarg=1}^{ITARG(z)} \left( \frac{k\_targ_{itarg}(z)}{ITARG(z)} \right)$$

$$T\_PRORG = \sum_{iprorg=1}^{IPRORG(z)} \left( \frac{k\_prorg_{iprorg}(z)}{IPRORG(z)} \right)$$

$$T\_MALGIT = \sum_{imalgit=1}^{IMALGIT(z)} \left( \frac{k\_malgit_{imalgit}(z)}{IMALGIT(z)} \right)$$

$$T\_FSU = \sum_{ifsu=1}^{IFSU(z)} \left( \frac{k\_fsu_{ifsu}(z)}{IFSU(z)} \right)$$

$$T\_ABON = \sum_{iabon=1}^{IABON(z)} \left( \frac{k\_abon_{iabon}(z)}{IABON(z)} \right)$$

$$T\_UIS = \sum_{iuis=1}^{IUIS(z)} \left( \frac{k\_uis_{iuis}(z)}{IUIS(z)} \right)$$

В конце этапа «Учет изменений и внедрение» (рис. 1) производится определение волны цифровизации. Для этого значения параметров  $T\_TARG$ ,  $T\_PRORG$ ,  $T\_MALGIT$ ,  $T\_FSU$ ,  $T\_ABON$ ,  $T\_UIS$  сравниваются с соответствующими пороговыми значениями для различных волн цифровизации  $P\_TARG(z)$ ,  $P\_PRORG(z)$ ,  $P\_MALGIT(z)$ ,  $P\_FSU(z)$ ,  $P\_ABON(z)$ ,  $P\_UIS(z)$ . Для того чтобы модель СУ ЖКХ соответствовала  $w$ -й волне цифровизации ( $w=1, 2, 3$ ), необходимо выполнение условий:

$$T\_TARG \geq p\_targ(z, w),$$

$$T\_PRORG \geq p\_prorg(z, w),$$

$$T\_MALGIT \geq p\_malgit(z, w),$$

$$T\_FSU \geq p\_fsu(z, w),$$

$$T\_ABON \geq p\_abon(z, w),$$

$$T\_UIS \geq p\_uis(z, w).$$

Таким образом, в конце очередного витка жизненного цикла модели СУ ЖКХ определяется номер волны цифровизации, которой соответствует модель, в которой все компоненты согласованы между собой, а также согласованы с потребностями абонентов ЕИП ЖКХ. При этом, если хотя бы одно из условий для первой волны цифровизации не выполняется, то цифровизация ЖКХ при такой

модели СУ ЖКХ невозможна. В этом случае в дальнейшем должна быть использована модель СУ ЖКХ, соответствующая третьей промышленной революции. Алгоритм определения условий трансформации модели системы управления ЖКХ приведен на рис. 2.

### Особенности работы алгоритма

В начале работы алгоритма вводятся исходные данные (оператор 2): модель системы управления ЖКХ  $UPRSYST(z)$ , соответствующая  $w$ -й волне цифровизации, а также массив  $OB(z)$ , состоящий из областей знаний  $OBL_{io}(z)$ , которые связаны с управлением ЖКХ в момент времени  $z$ :

$$OB(z) = \{OBL_{io}(z); io=1, 2, \dots, IO(z)\},$$

$$OBL_{io}(z) = \{obl_{io}(z, el); io=1, 2, \dots, IO(z); el=1, 2, \dots, EL(z, io)\},$$

где  $IO(z)$  – количество областей знаний в момент времени  $z$ ,

$EL(z, io)$  – количество элементов в  $io$ -й области знаний в момент времени  $z$ .

Далее организуется цикл по переменной  $et$  для перебора стадий жизненного цикла системы управления ЖКХ (операторы 3, 19). В случае, если система управления ЖКХ находится на этапе «Анализ» (условие в операторе 4 выполняется), то происходит переход к оператору 5 (к алгоритму уточнения модели системы управления ЖКХ). В случае невыполнения условия в операторе 4 происходит переход к оператору 10 (алгоритму уточнения значений параметров, характеризующих компоненты системы управления ЖКХ). Уточнение модели системы управления ЖКХ (оператор 5) заключается в преобразовании  $PROBL$  областей знаний  $OBL_{io}(z)$  в элементы компонентов системы управления ЖКХ:

$$PROBL: OBL_{io}(z) \rightarrow UPRSYST(z).$$

В результате работы алгоритма в операторе 5 формируется уточненная модель СУ ЖКХ, соответствующая  $w$ -й волне цифровизации. Далее происходит переход к оператору 6, в котором реализован алгоритм формирования наборов параметров, характеризующих компоненты модели СУ ЖКХ. В качестве исходных данных для этого алгоритма используются: полученная в операторе 5 модель СУ ЖКХ  $UPRSYST(z)$ , области знаний  $OBL_{io}(z)$ , а также требования абонентов ЕИП ЖКХ, входящие в состав компонента  $ABON(z)$

$$TREB(z) = \{treb(itb); itr=1, 2, \dots, ITB(z)\},$$

где  $ITB(z)$  – количество требований абонентов ЕИП ЖКХ в момент времени  $z$ .



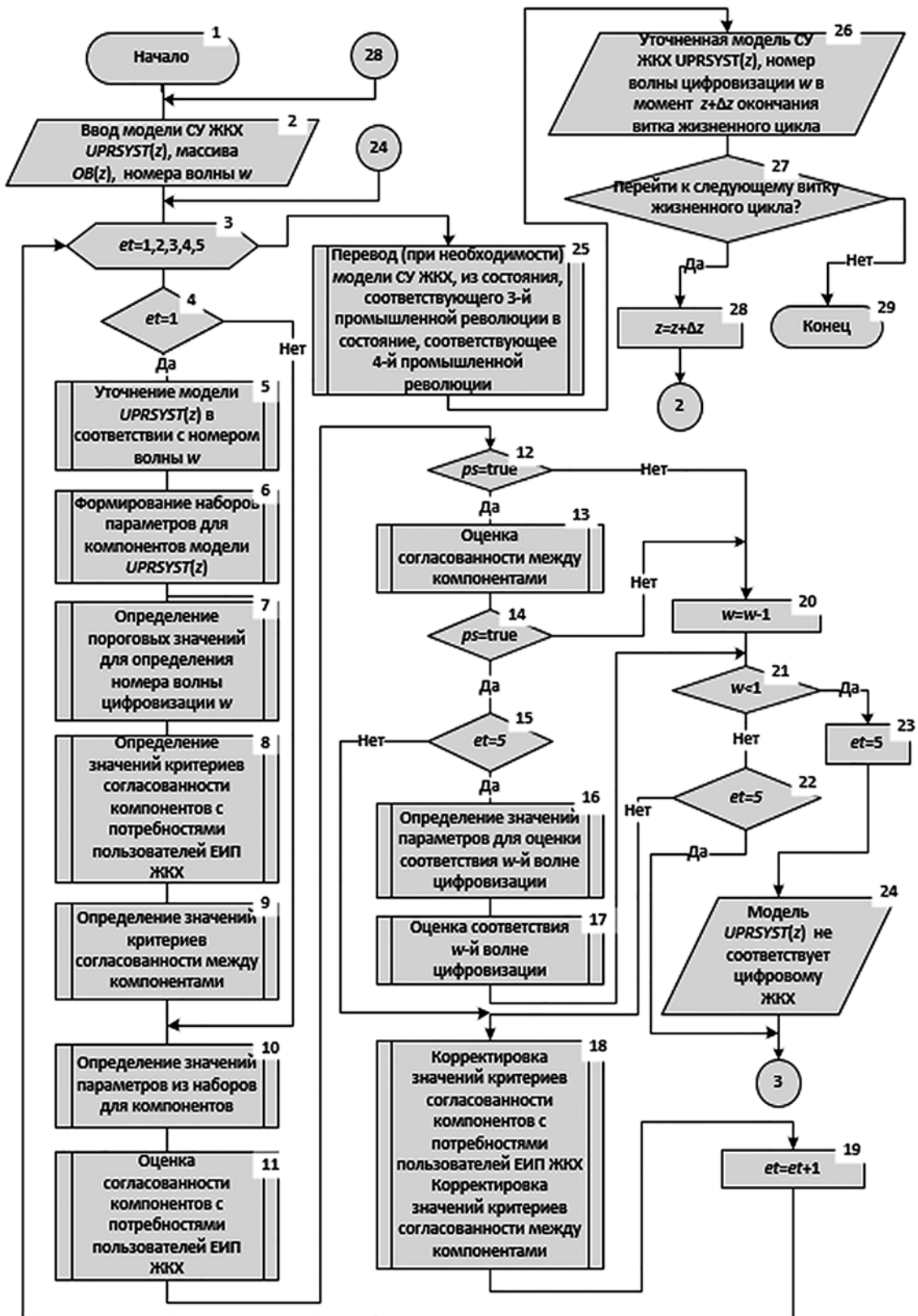


Рис. 2. Алгоритм определения условий трансформации модели системы управления ЖКХ

В результате работы алгоритма формируются матрицы **MPAR** и **MI**.

$$MPAR = \begin{pmatrix} mpar(1,1) & mpar(1,2) & \dots & mpar(1,ITARG(z)) \\ mpar(2,1) & mpar(2,2) & \dots & mpar(2,IPRORG(z)) \\ mpar(3,1) & mpar(3,2) & \dots & mpar(3,IMALGIT(z)) \\ mpar(4,1) & mpar(4,2) & \dots & mpar(4,IFSU(z)) \\ mpar(5,1) & mpar(5,2) & \dots & mpar(5,IABON(z)) \\ mpar(6,1) & mpar(6,2) & \dots & mpar(6,IUIS(z)) \end{pmatrix}$$

При формировании элементов матрицы используются полученные ранее массивы **K\_TARG(z)**, **K\_PRORG(z)**, **K\_MALGIT(z)**, **K\_FSU(z)**, **K\_ABON(z)**, **K\_UIS(z)**. То есть

$$\begin{aligned} mpar(1,jm) &= \{k\_targ_{jm}(z); jm=1, 2, \dots, ITARG(z)\}; \\ mpar(2,jm) &= \{k\_prorg_{jm}(z); jm=1, 2, \dots, IPRORG(z)\}; \\ mpar(3,jm) &= \{k\_malgit_{jm}(z); jm=1, 2, \dots, IMALGIT(z)\}; \\ mpar(4,jm) &= \{k\_fsu_{jm}(z); ifsu=1, 2, \dots, IFSU(z)\}; \\ mpar(5,jm) &= \{k\_abon_{jm}(z); jm=1, 2, \dots, IABON(z)\}; \\ mpar(6,jm) &= \{k\_uis_{jm}(z); jm=1, 2, \dots, IUIS(z)\}. \end{aligned}$$

Матрица **MI** предназначена для хранения максимальных значений номеров столбца матрицы **MPAR**, соответствующих *w*-й волне цифровизации (*w*=1, 2, 3).

$$MI = \begin{pmatrix} ITARG_1(z) & ITARG_2(z) & ITARG(z) & 0 \\ IPRORG_1(z) & IPRORG_2(z) & IPRORG(z) & 0 \\ IMALGIT_1(z) & IMALGIT_2(z) & IMALGIT(z) & 0 \\ IFSU_1(z) & IFSU_2(z) & IFSU(z) & 0 \\ IABON_1(z) & IABON_2(z) & IABON_3(z) & IABON(z) \\ IUIS_1(z) & IUIS_2(z) & IUIS(z) & 0 \end{pmatrix}$$

Обратим внимание, что в строке 5 матрицы **MPAR** присутствуют параметры, предназначенные для последующей оценки соответствия компонентов модели системы управления ЖКХ требованиям абонентов (с индексами параметров от  $IABON_3(z)+1$  до  $IABON(z)$ ).

Далее происходит переход к оператору 7, в котором производится работа алгоритма для определения пороговых значений параметров, входящих в массивы **K\_TARG(z)**, **K\_PRORG(z)**, **K\_MALGIT(z)**, **K\_FSU(z)**, **K\_ABON(z)**, **K\_UIS(z)**. Для определения номера волны цифровизации используется полу-

ченная матрица **MI**, а также массив  $OBL_{io}(z)$ . В алгоритме производится попарное рассмотрение компонентов модели и областей знаний и делается вывод о степени влияния областей знаний на пороговые значения для компонентов модели СУ ЖКХ, соответствующей *w* – й волне цифровизации. Результатом работы оператора 7 является матрица **QR** пороговых значений для компонентов модели СУ ЖКХ:  $QR = \{qr(iqr, w); iqr=1, 2, \dots, 6; w=1,2,3\}$ . Элементы матрицы **QR** соответствуют элементам массивов **P\_TARG(z)**, **P\_PRORG(z)**, **P\_MALGIT(z)**, **P\_FSU(z)**, **P\_ABON(z)**, **P\_UIS(z)**

$$QR = \begin{pmatrix} p\_targ(z,1) & p\_targ(z,2) & p\_targ(z,3) \\ p\_prorg(z,1) & p\_prorg(z,2) & p\_prorg(z,3) \\ p\_malgit(z,1) & p\_malgit(z,2) & p\_malgit(z,3) \\ p\_fsu(z,1) & p\_fsu(z,2) & p\_fsu(z,3) \\ p\_abon(z,1) & p\_abon(z,2) & p\_abon(z,3) \\ p\_uis(z,1) & p\_uis(z,2) & p\_uis(z,3) \end{pmatrix}$$

Далее производится переход к выполнению оператора 8, в котором реализован алгоритм для задания значений критериев согласованности компонентов с требованиями абонентов ЕИП ЖКХ. В качестве исходных данных для данного алгоритма используется уточненная модель СУ ЖКХ и номер волны цифровизации, массивы  $OBL_{io}(z)$ , а также массив  $TREB(z)$ . В результате попарного рассмотрения компонентов модели СУ ЖКХ и областей знаний из массивов  $OBL_{io}(z)$  делается вывод о степени влияния области знаний на требования абонента. Результатом работы алгоритма (оператора 8) является массив критериев согласования  $TR = \{tr(itr); itr=1, 2, \dots, 6\}$ .

Далее производится переход к оператору 9, в котором реализуется алгоритм для задания значений критериев согласованности компонентов системы управления ЖКХ. В качестве исходных данных используется уточненная модель системы управления ЖКХ, а также массивы  $OBL_{io}(z)$ . Производится попарное рассмотрение компонентов модели и оценка вклада областей знаний в согласованность компонентов. В результате работы алгоритма (оператор 9) получается матрица значений критериев согласования  $KR = \{kr(ikr, ktr); ikr, ktr=1, 2, \dots, 6\}$ .

Далее производится переход к оператору 10, в котором реализован алгоритм для уточнения значений параметров, характеризующих компоненты модели системы управления ЖКХ. Также к данному оператору происходит переход от оператора 4. В качестве исходных данных для работы алгоритма в операторе 10 используются полученные ранее матрицы  $MPAR$  и  $MI$ , номер волны цифровизации, а также значение переменной  $et$  – номер этапа жизненного цикла в текущий момент времени. С помощью номера волны цифровизации, уточняются значения элементов матрицы  $MI$ . Затем с помощью значений уточненных элементов матрицы  $MI$  уточняются элементы матрицы  $MPAR$ . Производится уточнение не всех элементов в строках матрицы  $MPAR$ , а только элементов, которые соответствуют  $w$ -й волне цифровизации. При этом необходимость уточнения значений элементов матрицы  $MPAR$  на  $et$ -м этапе жизненного цикла СУ ЖКХ определяют с привлечением экспертов. Таким образом, результатом работы алгоритма (оператор 10) является матрица  $MPAR$  с уточненными значениями элементов. Как уже было ука-

зано ранее, элементы матрицы  $MPAR$  соответствуют компонентам модели СУ ЖКХ.

Далее происходит переход к выполнению оператора 11, в котором реализуется работа алгоритма оценки согласованности компонентов с потребностями абонентов ЕИП ЖКХ. В качестве исходных данных для работы алгоритма используются матрицы  $MPAR$ ,  $MI$ , массив критериев согласования  $TR$ , а также номер волны цифровизации. Для проведения оценки используются только те элементы матрицы  $MPAR$ , которые соответствуют  $w$ -й волне цифровизации. Для проверки данный алгоритм использует значения элементов пятой строки матрицы  $MPAR$ , которые соответствуют потребностям абонентов (элементы с индексами от  $IABON3+1$  до  $IABON(z)$ ). Значения параметров, характеризующих потребности абонентов, попарно суммируются со значениями других элементов матрицы  $MPAR$ , соответствующих  $w$ -й волне цифровизации. Значения полученных сумм сравниваются с соответствующими значениями элементов массива  $TR$ . Если значения всех сумм превышают значения элементов массива  $TR$ , то компоненты согласуются с требованиями абонентов ЕИП ЖКХ. В этом случае выдается признак согласованности  $ps$ , значение которого равно «true». Если же условие согласованности компонентов и требований абонентов хотя бы один раз не выполняется, то значение признака согласованности  $ps$  равно «false». Значение признака  $ps$  передается для проверки условия оператору 12.

Если условие в операторе 12 выполняется, то происходит переход к оператору 13, в котором реализуется алгоритм оценки согласованности компонентов между собой. Если условие в операторе 12 не выполняется, то модель СУ ЖКХ не соответствует рассматриваемой волне цифровизации. Происходит переход к оператору 20, в котором переменной  $w$  присваивается значение, которое соответствует предыдущей волне цифровизации четвертой промышленной революции.

В качестве исходных данных для выполнения алгоритма в операторе 13 используются матрицы  $MPAR$ ,  $MI$ , матрица критериев согласования  $KR$ , а также номер волны цифровизации. Для проведения оценки используются только те элементы матрицы  $MPAR$ , которые соответствуют  $w$ -й волне цифровизации. Значения элементов матрицы  $MPAR$ , которые соответствуют  $w$ -й волне цифрови-

зации и характеризуют компоненты системы управления ЖКХ, попарно суммируются друг с другом. Значения получившихся сумм сравниваются с соответствующими значениями элементов массива **KR**. Если значения всех сумм превышают значения элементов массива **KR**, то компоненты согласуются с требованиями абонентов ЕИП ЖКХ. В этом случае переменной (признаку согласованности) *ps* присваивается значение «true». Если условие хотя бы раз не выполняется, то компоненты не согласуются друг с другом. Выдается значение показателя согласованности *ps*, равное «false».

Значение признака *ps* передается для проверки условия оператору 14. Если условие в операторе 14 выполняется, то происходит переход к оператору 15, в котором проверяется условие по переменной *et* об окончании перебора этапов жизненного цикла модели СУ ЖКХ. В случае невыполнения условия в операторе 14 происходит переход к оператору 20.

В случае выполнения условия в операторе 15 (перебор этапов жизненного цикла модели СУ ЖКХ закончен) производится переход к оператору 16, в котором реализовано выполнение алгоритма определения значения параметров для оценки соответствия волне цифровизации. В случае невыполнения условия в операторе 15 (перебор этапов жизненного цикла модели СУ ЖКХ не закончен), происходит переход к оператору 18, в котором реализован алгоритм коррекции критериев согласованности **TR** и **KR**. Также переход к оператору 18 производится после выполнения оператора 22.

Выполнение алгоритма в операторе 18 предусматривает определение с участием экспертов корректировочных массивов  $\Delta KR$  и  $\Delta TR$ . После выполнения оператора 18 происходит переход к следующему этапу жизненного цикла модели СУ ЖКХ (оператор 19).

Реализованный в операторе 16 алгоритм использует в качестве исходных данных номер волны цифровизации, рассматриваемой на этапе «Учета изменений и внедрения», а также матрицы **MPAR**, **MI**. В процессе работы алгоритма с помощью элементов матриц **MPAR** и **MI** производится формирование элементов массива **WT** с использованием приведенных ранее формул для параметров  $T\_TARG$ ,  $T\_PRORG$ ,  $T\_MALGIT$ ,  $T\_FSU$ ,  $T\_ABON$ ,  $T\_UIS$ :

$$WT = \{wt(im); im=1, 2, \dots, 6\}.$$

При этом

$$\begin{aligned} wt(1) &= T\_TARG, \quad wt(2) = T\_PRORG, \\ wt(3) &= T\_MALGIT, \quad wt(4) = T\_FSU, \\ wt(5) &= T\_ABON, \quad wt(6) = T\_UIS. \end{aligned}$$

После выполнения оператора 16 управление передается оператору 17, в котором реализован алгоритм оценки соответствия *w*-й волне цифровизации. В качестве исходных данных используются полученные ранее массив **WT**, а также матрица **QR** пороговых значений для компонентов модели системы управления ЖКХ. В процессе работы алгоритма производится сравнение элементов массива **WT** с элементами матрицы **QR**. В результате сравнения элементов массивов формируется массив  $WP = \{wp(im); im=1, 2, \dots, 6\}$ , который используется для определения номера волны цифровизации. Каждый *im*-й элемент массива **WP** соответствует номеру *w* волны для *im*-го компонента модели СУ ЖКХ. Из всех значений элементов массива **WP** выбирается минимальное значение, которое соответствует номеру волны цифровизации, который будет рассматриваться далее в начале нового «витка» жизненного цикла СУ ЖКХ (рис. 1). Следует отметить, что алгоритмы, выполняемые в операторах 16, 17 выполняются только в случае прохождения этапа жизненного цикла «Учет изменений и внедрения». После выполнения оператора 17 управление передается оператору 21, в котором выполняется проверка условия о соответствии полученного ранее номера волны цифровизации одной из волн цифровизации четвертой промышленной революции. Также управление оператору 21 передается от оператора 20. В случае невыполнения условия в операторе 21 (номеру волны цифровизации, полученный в операторах 17, 20, соответствует одна из волн цифровизации четвертой промышленной революции) управление передается оператору 22, в котором производится проверка условия о нахождении модели СУ ЖКХ на этапе «Учет изменений и внедрения». В случае выполнения условия в операторе 21 производится переход к окончанию работы с очередным витком жизненного цикла модели СУ ЖКХ (оператор 23), и выдача информации о невозможности реализовать модель СУ ЖКХ, соответствующей четвертой промышленной революции (оператор 24). После выполнения оператора 24 происходит переход к окончанию цикла по переменной *et* (оператор 3).

В случае выполнения условия в операторе 22 условия о нахождении модели системы управления ЖКХ на этапе «Учет изменений и внедрения» также производится переход к завершению цикла по переменной *et* (оператору 3). В случае невыполнения условия в операторе 22 производится переход к оператору 18.

После окончания цикла по переменной *et* (оператор 3) производится выполнение оператора 25, с помощью которого реализуется корректировка (при необходимости) модели СУ ЖКХ из состояния, соответствующего третьей промышленной революции в состояние, соответствующее четвертой промышленной революции. После выполнения оператора 25 с помощью оператора 26 производится выдача откорректированной модели СУ ЖКХ. После этого производится проверка условия о необходимости перехода к новому витку жизненного цикла модели системы управления ЖКХ (оператор 27). Если переход необходим, то производится переход к оператору 2. Если переход не нужен, то работа алгоритма заканчивается.

Таким образом особенность алгоритма, приведенного на рис. 2, состоит в том, что модель СУ ЖКХ может трансформироваться в течение жизненного цикла. Возможен переход к модели, соответствующей следующей волне цифровизации. При этом, возможна трансформация модели и в состояние, соответствующее предыдущей волне цифровизации. Использование модели означает, что ее компоненты согласуются между собой, а также с требованиями абонентов. Если при переходе к предыдущей волне цифровизации значение переменной *w* меньше 1, то модель не соответствует ни одной из волн цифровизации. Такому состоянию модели СУ ЖКХ соответствует использование информационных систем только первого или второго типов [2].

В данном состоянии алгоритм может быть использован для проектирования системы поддержки принятия решений в управлении ЖКХ. Пока что возможна лишь частичная реализация данного алгоритма на компьютере (ряд операторов алгоритма требует выполнения «ручных» операций за счет привлечения экспертов в области ЖКХ и цифровизации). Поэтому необходимо продолжение исследований с целью разработки алгоритмов, более подробно описывающих операторы алгоритма, а также разработки алгоритмов и моделей, имитирующих работу экспертов и позволяющих реализовать работу алгоритма без их участия.

### Выводы

В данной работе получены следующие результаты:

1. Разработана схема трансформации модели СУ ЖКХ. Жизненный цикл модели состоит из пяти этапов. При этом этапы жизненного цикла компонентов модели СУ ЖКХ сформированы по аналогии со спиральной моделью жизненного цикла программного обеспечения.

2. Разработан алгоритм определения условий трансформации модели СУ ЖКХ. Алгоритм позволяет определять соответствие модели системы управления требуемой волне цифровизации. Работа алгоритма предусматривает возможность трансформации модели как в сторону уменьшения степени цифровизации, так и в сторону ее увеличения.

3. Возможна лишь частичная реализация алгоритма на компьютере так как работа алгоритма предусматривает участие экспертов в области ЖКХ и цифровизации.

4. Разработанный алгоритм может быть использован для проектирования системы поддержки принятия решений в управлении ЖКХ.

### Библиографический список

1. Raul L. Katz Social and economic impact of digital transformation on the economy. GSR-17 Discussion paper. ITU [Электронный ресурс]. URL: [https://www.itu.int/en/ITU-D/Conferences/GSR/Documents/GSR2017/Soc\\_Eco\\_impact\\_Digital\\_transformation\\_finalGSR.pdf](https://www.itu.int/en/ITU-D/Conferences/GSR/Documents/GSR2017/Soc_Eco_impact_Digital_transformation_finalGSR.pdf) (дата обращения: 31.10.2021).
2. Попов А.А. Разработка системы поддержки принятия решений для формирования рациональной структуры единого информационного пространства жилищно-коммунального хозяйства региона. М.: РУСАЙНС, 2017. 170 с.
3. Черняк Л. Киберфизические системы на старте // Открытые системы. СУБД. 2014. № 2. С. 10-13.
4. Паспорт национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» [Электронный ресурс]. URL: <https://digital.ac.gov.ru/materials/passport/> (дата обращения: 31.10.2021).

5. Кадомцева С.В., Манахова И.В. Современная парадигма социально-экономического развития. Часть II. Цифровая трансформация // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. 2018. № 1 (70). С. 9-13.
6. Тапскотт Д. Электронно-цифровое общество: Плюсы и минусы эпохи сетевого интеллекта. Киев.: INT Пресс; Москва.: Релф бук, 1999. 432 с.
7. Тапскотт Д., Уильямс Э.Д. Викиномика. Как массовое сотрудничество изменяет все. М.: BestBusinessBooks, 2009. 392 с.
8. Дятлов С.А., Марьяненко В.П., Селищева Т.А. Информационно-сетевая экономика: структура, динамика, регулирование: монография. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2016. 414 с.
9. Волкова В.Н., Денисов А.А. Теория систем и системный анализ. М.: Юрайт, 2013. 616 с.
10. Попов А.А. Разработка модели информационного пространства при использовании устройств Интернета вещей для управления организацией в сфере жилищно-коммунального хозяйства // Инновации и инвестиции. 2019. № 10. С. 135-140.
11. Куприяновский В.П. и др. Экономические выгоды применения комбинированных моделей BIM-ГИС в строительной отрасли. Обзор состояния в мире // International Journal of Open Information Technologies. 2016. Т. 4. № 5. С. 14-25.
12. Куприяновский В.П., Суконников Г.В., Ярцев Д.И., Кононов В.В., Сиягов С.А., Намиот Д.Е., Добрынин А.П. Цифровая железная дорога – целостная информационная модель, как основа цифровой трансформации // International Journal of Open Information Technologies. 2016. Т. 4. № 10. С. 32-42.
13. Намиот Д.Е., Куприяновский В.П., Сиягов С.А. Инфокоммуникационные сервисы в умном городе // International Journal of Open Information Technologies. 2016. Т. 4. № 4. С. 1-9.
14. Куприяновский В.П., Фокин Ф.Ю., Буланча С.А., Куприяновская Ю.В., Намиот Д.Е. Микрогриды – энергетика, экономика, экология и ИТС в умных городах // International Journal of Open Information Technologies. 2016. Т. 4. № 4. С. 10-19.
15. Куприяновский В.П., Сиягов С.А., Липатов С.И., Намиот Д.Е., Воробьев А.О. Умные решения цифровой экономики для борьбы с пожарами // International Journal of Open Information Technologies. 2016. Т. 4. № 3. С. 32-37.