

3. На уровне уточнения склонения магнитного поля – сбор и усреднение текущих значений магнитного поля с целью учета при обработке данных инклинометрии (правка расчетных значений азимута по формуле (6)). Очевидно, что необходимо введение времени замера при бурении или каротаже для согласования расчетных величин базовых углов и данных наблюдений. Синхронизация часов должна быть с точностью не менее 30 секунд. Данная процедура способна существенно повысить точность измерения магнитного азимута в зависимости от геомагнитной обстановки во время проведения бурения или каротажа.

Кроме того, в случае отсутствия лабораторных данных (например [5]) непрерывный сбор значений модуля, углов склонения и наклона магнитного поля и сравнение с соответственными усредненными кривыми позволяет определить существенные и длительные искажения магнитного поля как природного (магнитные бури), так и техногенного характера (нагрузка на ЛЭП, большие магнитные массы и т. п.), которые могут повлиять на качество базовой калибровки и расчетные значения во время бурения или каротажа.

В случае длительного использования средства мониторинга магнитного поля Земли становится возможным анализ и учет более медленных, чем суточные, вариаций магнитного поля, а также вековой уход магнитного полюса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Акасофу С. И., Чепмен С. Солнечно-земная физика. Ч. 2. М.: Мир, 1975. 512 с.
2. Гринев И. В., Королев А. Б., Ситников В. Н. Контроль качества инклинометрических измерений. Учет суточных вариаций магнитного поля // НТВ “Каротажник”. Тверь: Изд. АИС. 2015. Вып. 12 (258). С. 99–108.
3. Лаборатория рентгеновской астрономии Солнца Физического института Российской академии наук. Магнитные бури онлайн // [http://www.thesis.lebedev.ru/magnetic\\_storms.html](http://www.thesis.lebedev.ru/magnetic_storms.html)
4. Николаев А. С. Военная топография. М.: Воениздат, 1977. 280 с.
5. Процессорный оверхаузеровский датчик POS-1 (ПОС-1). Руководство по эксплуатации. Екатеринбург: УГТУ, Лаборатория квантовой магнитометрии, 2005. 41 с.
6. Рыжков И. В., Пономарева Е. А. Моделирование вычисления азимута наклонной скважины в условиях воздействия магнитных помех // Международный научный журнал. 2014. Т. 11. С. 34–39.

7. Серкеров С. Гравиразведка и магниторазведка. Основные понятия, термины и определения: Учебное пособие для вузов. М.: ООО “Недра-Бизнесцентр”, 2006. 479 с.
8. Троицкая В. А., Гудельми А. В. Геомагнитные пульсации и диагностика магнитосферы // Успехи физических наук. 1969. Т. 69. № 3. С. 453–494.
9. Центр прогнозов космической погоды “ИЗМИРАН”: Вариации магнитного поля Земли // <http://forecast.izmiran.ru>
10. British Geological Survey. Natural Environment Research Council: World Magnetic Model 2015 Calculator // [http://www.geomag.bgs.ac.uk/data\\_service/models\\_compass/wmm\\_calc.html](http://www.geomag.bgs.ac.uk/data_service/models_compass/wmm_calc.html)

*Рукопись рассмотрена на научно-техническом совете  
ООО “Нефтегазгеофизика” и рекомендована к публикации*

УДК 658:005.05

*Г. Б. Бурдо  
ООО “Нефтегазгеофизика”  
А. Ю. Сорокин  
Тверской ГТУ*

### АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРИ СОЗДАНИИ НАУКОЕМКИХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Российский и мировой рынки диктуют спрос на наукоемкую высокотехнологичную продукцию различных областей машиностроения, к которым относится и геофизическое приборостроение. Учитывая высокий уровень конкуренции, важнейшее значение приобретает задача сокращения сроков проектирования и изготовления опытных образцов наукоемкой геофизической продукции (НГП) при обеспечении их надлежащего качества. Поэтому создание автоматизированной системы управления качеством изделий на этапах технической подготовки производства, изготовления и испытания наукоемкой продукции (АСУ ТППИИ) является актуальной задачей. Выявлены и сформулированы новые принципы построения АСУ ТППИИ и разработана ее теоретико-множественная модель.

*Ключевые слова: управление качеством, наукоемкая геофизическая продукция, автоматизированная система, техническая подготовка производства, жизненный цикл изделия.*

## Введение

К настоящему моменту в отечественном и в зарубежном машиностроении (и в геофизическом приборостроении, в частности) сложилась такая ситуация, что требования потребителей изделий предопределяют весьма сжатые сроки появления на рынке новой качественной высокотехнологичной наукоемкой геофизической продукции (НГП). При этом первоочередной задачей является проектирование и производство первых высококачественных образцов новых изделий параллельно с выпуском серийных.

Жизненный цикл серийно выпускаемых изделий (ЖЦИ) изучен достаточно подробно (рис. 1), а рынок программных продуктов по поддержке принятия решений на его этапах представлен достаточно широко [6].

Проектирование и производство первых образцов новых изделий (проект по созданию новых изделий) являются специфичными задачами по целому ряду причин, что отличает их от задач, стоящих при производстве и обеспечении качества серийно выпускаемой продукции [4] или реинжиниринге (модернизации, модификации). Эти отличия заключаются в следующем:

- 1) особенность структуры жизненного цикла НГП (наличие этапов НИОКР, малый период испытаний, отсутствии этапов эксплуатации, утилизации и т. д.);
- 2) нечеткость критериев оценки технических и технико-экономических показателей качества продукции;
- 3) наличие большого числа итерационных процедур при выполнении НИОКР, проектировании и производстве, связанных с высокой неформальностью задач и с неполной информацией;
- 4) необходимость параллельного по времени выполнения ряда этапов (НИОКР и конструкторская подготовка производства (КПП); НИОКР, КПП и технологическая подготовка производства (ТхПП) и т. д.);
- 5) изготовление образца НГП по новым технологиям, отличным от уже реализуемых для серийной продукции.

Специфичность задач не позволяет достаточно эффективно использовать существующие инструментальные средства поддержки решений при реализации проектов по созданию НГП требуемого качества, что увеличивает сроки вывода на рынок новой продукции.

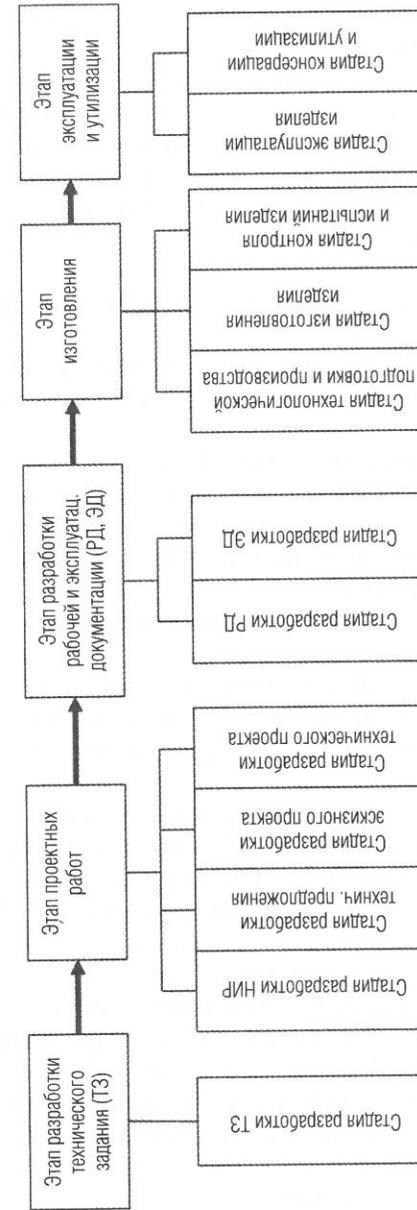


Рис. 1. Основные этапы и стадии ЖЦИ

С позиции обеспечения качества наиболее ответственными этапами при создании НГП являются техническая подготовка производства (ТПП), включающая НИОКР, КПП, ТхПП, производственное планирование (ПП), изготовление и испытания (И). Поэтому разработка автоматизированной системы управления качеством “человек–машина” на этапах технической подготовки производства, изготовления и испытания наукоемкой геофизической продукции (АСУ ТППИИ) востребована временем.

### Принципы построения АСУ ТППИИ

Приведенные далее 9 выявленных принципов построения АСУ ТППИИ позволяют создавать автоматизированную систему, обеспечивающую:

- а) создание НГП надлежащего качества;
- б) выполнение процедур принятия решений адекватно процессам, существующим в реальной производственной системе;
- в) информационную интеграцию с системой управления организацией более высокого уровня;
- г) встраивание АСУ ТППИИ в автоматизированные системы поддержки жизненного цикла продукции;
- д) соответствие процедур принятия решений логике человеческого мышления и алгоритмам действия специалистов;
- е) сокращение суммарного времени (цикла) изготовления образца наукоемкой продукции.

Принципы сформулированы следующим образом.

1. Принцип соответствия этапов ТППИИ образца наукоемкой продукции этапам жизненного цикла изделия.
2. Принцип итерационного принятия решений.
3. Иерархичность системы.
4. Определенность функционирования системы.
5. Наличие элементов искусственного интеллекта.
6. Совмещение выполнения работ этапов во времени.
7. Производительность критериев оценки качества НГП от технического задания, от ожидаемых показателей функционирования продукции при ее промышленном выпуске и от мирового опыта проектирования подобных изделий.
8. Принцип многовариантности.

9. Принципы формирования критериев оценки решений на этапах:
  - а – граничного вида критериев;
  - б – относительного вида критериев;
  - в – комплексности критериев;
  - г – уточнения критериев.

Рассмотрим вышеприведенные принципы.

**Принцип 1** направлен на обеспечение логического соответствия процедур создания образца нового изделия принятым в организациях типовым процедурам проектных, конструкторских, технологических и управленческих работ и обеспечивает поддержку АСУ ТППИИ посредством CALS-технологий [6].

**Принцип 2** обеспечивает принятие решений в условиях информационной неопределенности, когда одношаговое получение решения, близкого к оптимальному, затруднительно.

**Принцип 3** позволяет представить систему 4-уровневой. Высший (первый) уровень необходим для управления со стороны руководства организацией и обеспечивает информационную интеграцию с АСУ организацией (АСУП). Второй уровень необходим для управления процедурами конструкторской, технологической и планово-организационной подготовки производства. На третьем уровне иерархии выполняются этапы НИОКР (НИР), КПП, ТхПП, организационной подготовки производства (планирование) и испытания. Учитывая, что изготовление образца изделия осуществляется в технологической (производственной) системе, управление которой должно выполняться по результатам анализа ее текущего состояния [1], необходимо введение 4-го уровня иерархии – управления, обеспечивающего информационную связь автоматизированной системы с технологическими подразделениями.

**Принцип 4** определяет структуру технического задания (ТЗ). Учитывая, что система управляет этапами НИОКР, конструкторской, технологической, организационно-управленческой подготовки производства, то ТЗ на изготовление опытного образца НГП должно содержать разделы, соответствующие указанным этапам. В свою очередь, ТЗ должно напрямую вытекать из ожидаемых показателей функционирования продукции при ее промышленном выпуске. Поэтому в ТЗ должны быть отражены функциональные, технические, технологические, эксплуатационные, эргономические и экономические показатели изделия [2, 3].

**Принцип 5** указывает на целесообразность для принятия решений по применению методов и моделей знаний искусственного интеллекта, в частности экспертных систем, производственных моделей и темпоральных логик [5, 8], что позволит повысить эффективность проектных процедур.

**Принцип 6** определяет возможность совмещения работ этапов ЖЦИ во времени исходя из логики и содержания действий, выполняемых на каждом из них, так как для начала работ на последующем этапе нет необходимости в наличии всей информации, получаемой (выявляемой) на предыдущем. Например, конструкторская проработка отдельных узлов может вестись параллельно во времени с этапом НИОКР, а отработка конструкции на технологичность – параллельно с КПП. Таким же образом могут быть совмещены и работы в пределах одного этапа (разработка общего вида, узлов и деталировка при КПП, отработка конструкции на технологичность и проектирование (заказ) оснастки и инструмента, проработка технологий при ТхПП).

**Принцип 7** говорит о том, что критерии оценки решений (результативности работ) на каждом из этапов создания нового образца НГП должны позволять определять окончание работ по этапу, если необходимое качество параметров изделия обеспечено, либо определять продолжение итераций в противном случае. Поэтому, чтобы оценить и получить как итог желаемый результат, критерии оценки решений на этапах должны быть логически и количественно увязаны с ТЗ. В противном случае возникает неопределенность при оценке решений. Учитывая принцип 4, можно утверждать, что критерии оценки решений на этапах должны логически проистекать из ожидаемых показателей функционирования продукции при ее промышленном выпуске.

Например, если при промышленном производстве экономический аспект оценивается по приведенным затратам, то в нашем случае следует оперировать с технологической себестоимостью.

**Принцип 8** требует для расширения пространства поиска технических решений обеспечивать вариантность результатов работ в разумной области. При этом речь может идти как о реализации принципиально разных подходов (разные технические системы), так и о вариациях их частей (подсистем). Особенно вариабельными должны быть решения на этапах КПП (обеспечение качества конструкцией изделия) и ТхПП (обеспечение технологией оговоренных чертежами параметров изделия при наименьших издержках).

**Принцип 9** исходит из того, что при создании достаточно новых изделий на уровне лучших мировых образцов критерии должны быть модифицированы по сравнению с критериями, принятыми при модернизации и модификации и носящими, как правило, минимаксные (вид 1) или граничные (вид 2) ограничения.

**Принцип 9, а** утверждает, что критерии вида 1 могут составлять незначительную часть, так как при создании нового изделия изменится большое число его принципиальных параметров. Поэтому большая часть критериев должна носить граничный характер (не более, не менее, в интервале) и быть сформирована на основании экспертных оценок.

**Принцип 9, б** указывает, что при оценке решений (выполненных работ) большое значение приобретают относительные критерии, полученные при сравнении синтезированных вариантов технических систем, либо при сравнении с прототипом (прототипами), находящимися на передовом мировом уровне. Рассмотрим такой пример. Скажем, увеличение себестоимости на 15%, как критерий, ничего еще не говорит. Если при этом точность измерения параметра будет повышена в два раза, то он вполне приемлем.

**Принцип 9, в** устанавливает, что общая оценка изделия должна выполняться комплексными критериями, производными от критериев, применяемых на каждом этапе. К примеру, увеличение сложности изделия, его конструкторской иерархии – не самый лучший случай, если брать во внимание лишь конструкцию. Но это может позволить соблюсти принцип агрегатирования, упростив планирование промышленного выпуска изделий, удешевить его сборку и техническое обслуживание.

**Принцип 9, г** определяет необходимость постепенной конкретизации критериев. На начальных этапах проектирования изделия его конструкция не вполне конкретна, поэтому экспертные критерии не всегда имеют количественный вид и могут быть представлены выражениями нечеткой логики вида “в основном выполнены требования”, “сомнительно выполнение требований” и т. д. По мере детализации конструкторской документации обеспечивается переход к числовым значениям.

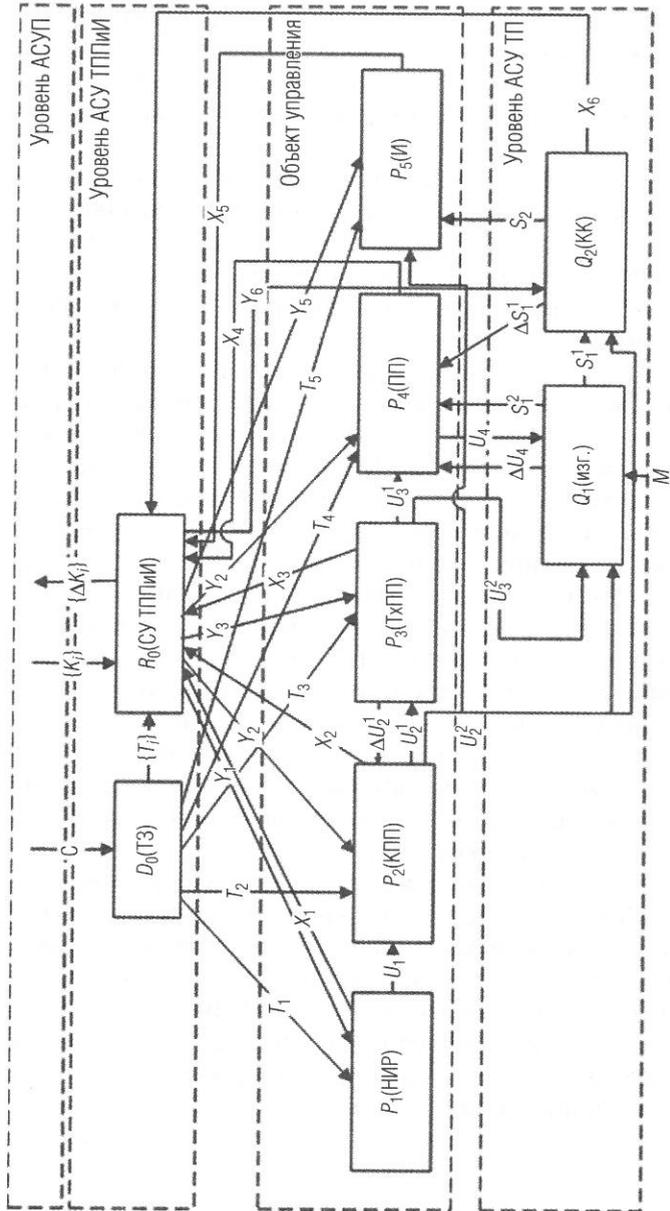


Рис. 2. Теоретико-множественная модель АСУ ТППИИ

## Модель автоматизированной системы управления качеством на этапах технической подготовки производства, изготовления и испытания наукоемкой машиностроительной продукции

### Иерархия автоматизированной системы

На рис. 2 показана разработанная на основе выявления структуры и функций процедур, выполняемых при создании НПП, теоретико-множественная модель [7] АСУ ТППИИ.

Можно увидеть, что управляющие процедуры выполняются после каждого этапа на основании сравнения результатов с требуемыми параметрами, представленными в ТЗ. Модель имеет 4 уровня иерархии:

*Первый уровень* – автоматизированная система управления организацией (предприятием), АСУП.

*Второй уровень* – управление технической подготовкой производства, изготовления и испытания опытного изделия.

*Третий уровень* – реализация основных этапов ТППИИ.

*Четвертый уровень* – управление технологическими процессами.

### Информационные преобразования в автоматизированной системе

*Первый уровень* (рис. 2) – автоматизированная система управления организацией (предприятием) АСУП – информационно определяет функционирование автоматизированной системы управления технической подготовкой производства, изготовления и испытания опытного изделия (АСУ ТППИИ). АСУП задает целевую функцию для АСУ ТППИИ, включающую множество критериев  $A$  оценки выполнения каждого из этапов ТППИИ:  $A = F(K)$ , где  $K = \{K_i\}$  – множество критериев показателей качества изделия и (или) качества выполнения работ на этапах (далее по тексту – множество критериев). Указанные критерии отражаются в техническом задании  $C$  для совокупности процессов, управляемых АСУ ТППИИ.

*Второй уровень* – управление технической подготовкой производства, изготовления и испытания опытного изделия (АСУ ТППИИ) – представлен операторами  $D_0$  и  $R_0$ .

Оператор  $D_0$  (блок задания) формирует множество технических заданий  $TЗ = \{T_1, T_2, \dots, T_5\}$  для каждого из этапов процесса ТППИИ. Его функции:

$$D_0^1: C \rightarrow T_1; D_0^2: C \rightarrow T_2; D_0^3: C \rightarrow T_3; D_0^4: C \rightarrow T_4; D_0^5: C \rightarrow T_5,$$

где  $T_1$  – техническое задание на проведение НИОКР, определяет виды работ, их цели, затраты на проведение работ, сроки выполнения;  $T_2$  – техническое задание на проведение конструкторской подготовки производства (КПП), определяет служебное назначение изделия (функции, точность их реализации, условия эксплуатации), требования к показателям качества изделия (работоспособность, надежность, ресурс) и их превышению (отклонению) по сравнению с аналогами; дополнительные параметры качества (эргономичность, ремонтпригодность, экономичность); сроки и стоимость проведения КПП;  $T_3$  – техническое задание на проведение технологической подготовки производства (ТхПП), определяет целевую функцию ТхПП, критериями которой являются максимальная производительность или минимальная технологическая себестоимость и ограничения, накладываемые производственной системой, в которой будут реализовываться технологии; сроки проведения и затраты на ТхПП; требования к уровню технологичности конструкции изделия;  $T_4$  – техническое задание на проведение планирования производства (ПП) по реализации технологических процессов в производственной системе (ПС), включающее требования к срокам изготовления и приоритетность заказа;  $T_5$  – техническое задание на проведение испытаний изделия, включающее требования, сроки и стоимость испытаний.

Оператор  $R_0$  управляет работой на всех этапах создания образца наукоемкой продукции. Он реализует следующие функции:

$R_0^1$  – управление оператором  $P_1$  (НИОКР):  $R_0^1: K_1 \times X_1 \times T_1 \rightarrow Y_1$ , где  $X_1$  – множество параметров, характеризующих выполнение работ на этапе НИР (НИОКР), предусмотренных техническим заданием  $T_1$  (информационная структура множества  $X_1$  соответствует  $T_1$ );  $Y_1$  – множество параметров управляющего воздействия на оператор  $P_1$ , обеспечивающего выполнение работ на этапе НИР в соответствии с ТЗ ( $T_1$ ) и множеством критериев  $K_1$ .

$R_0^2$  – управление оператором  $P_2$  (КПП):  $R_0^2: K_2 \times X_2 \times T_2 \rightarrow Y_2$ , где  $X_2$  – множество параметров, характеризующих выполнение работ на этапе КПП, предусмотренных техническим заданием  $T_2$  (информационная структура множества  $X_2$  соответствует  $T_2$ );  $Y_2$  – множество параметров управляющего воздействия на оператор  $P_2$ , обеспечива-

ющего выполнение работ на этапе КПП в соответствии с ТЗ ( $T_2$ ) и множеством критериев  $K_2$ .

$R_0^3$  – управление оператором  $P_3$  (ТхПП):  $R_0^3: K_3 \times X_3 \times T_3 \rightarrow Y_3$ , где  $X_3$  – множество параметров, характеризующих выполнение работ на этапе ТхПП, предусмотренных техническим заданием  $T_3$  (информационная структура множества  $X_3$  соответствует  $T_3$ );  $Y_3$  – множество параметров управляющего воздействия на оператор  $P_3$ , обеспечивающего выполнение работ на этапе ТхПП в соответствии с ТЗ ( $T_3$ ) и множеством критериев  $K_3$ .

$R_0^4$  – управление оператором  $P_4$  (ПП):  $R_0^4: K_4 \times X_4 \times T_4 \rightarrow Y_4$ , где  $X_4$  – множество параметров, характеризующих выполнение работ на этапе ПП, предусмотренных техническим заданием  $T_4$  (информационная структура множества  $X_4$  соответствует  $T_4$ );  $Y_4$  – множество параметров управляющего воздействия на оператор  $P_4$ , обеспечивающего выполнение работ на этапе планирования производства в соответствии с ТЗ ( $T_4$ ) и множеством критериев  $K_4$ .

$R_0^5$  – управление оператором  $P_5$  (испытания изделия, И):  $R_0^5: K_5 \times X_5 \times T_5 \rightarrow Y_5$ , где  $X_5$  – множество параметров, характеризующих выполнение работ на этапе И, предусмотренных техническим заданием  $T_5$  (информационная структура множества  $X_5$  соответствует  $T_5$ );  $Y_5$  – множество параметров управляющего воздействия на оператор  $P_5$ , обеспечивающего выполнение работ на этапе подготовки испытаний в соответствии с ТЗ ( $T_5$ ) и множеством критериев  $K_5$ .

$R_0^6$  – управление работой оператора  $Q_2$  (контроль качества работ, КК):  $R_0^6: X_6 \rightarrow Y_6$ , где  $X_6$  – множество параметров – сведения о качестве выполненных технологических работ (операций) в производственной системе (ПС);  $Y_6$  – множество параметров управляющего воздействия на оператор  $Q_2$  (решения о необходимости браковать или пропускать изделие и т. д.).

$R_0^7$  – координация управления с АСУП:  $R_0^7: \{K_i\} \times X_1 \times X_2 \times X_3 \times X_4 \times X_5 \rightarrow \{\Delta K_i\}$ , где  $\{\Delta K_i\} = \{\Delta K_1, \Delta K_2, \dots, \Delta K_5\}$  – множество отклонений показателей результативности этапов от заданных значений.

Третий уровень – уровень реализации основных этапов ТППИИ, представлен операторами  $P_1$ – $P_5$ .

Оператор  $P_1$  – выполнение НИОКР (НИР), предусмотренных техническим заданием  $T_1$ . Он выполняет две функции:

- 1) выполнение НИОКР и подготовка информации для  $R_0$ :  $P_1^1: T_1 \times X_1 \rightarrow X_1$ ;

- 2) передача информации для  $P_2$ :  $P_1^2 : T_1 \rightarrow U_1$ , где  $U_1$  – множество параметров, содержащихся в отчетной документации по НИОКР, необходимых для проведения КПП.

Оператор  $P_2$  – выполнение работ по КПП, предусмотренных заданием  $T_2$ . Его три функции следующие.

- 1) проведение КПП и подготовка информации для оператора  $R_0$ :  $P_2^1 : T_2 \times Y_2 \times U_1 \rightarrow X_2$ ;
- 2) передача оператору  $P_3$  информации, необходимой для осуществления технологической подготовки производства:  $P_2^2 : Y_2 \times T_2 \times \Delta U_2^1 \times U_1 \rightarrow U_2^1$ , где  $U_2^1$  – множество параметров, содержащихся в конструкторской документации и необходимых для ТхПП;  $\Delta U_2^1$  – множество параметров, определяющих требования оператора  $P_4$  по повышению уровня технологичности изделия;
- 3) передача информации операторам  $Q_1$  (изготовление),  $Q_2$  (контроль качества работ) и  $P_5$  (испытания):  $P_2^3 : Y_2 \times T_2 \times \Delta U_2^1 \times U_1 \rightarrow U_2^2$ , где  $U_2^2$  – множество параметров, содержащихся в конструкторской документации и необходимых для изготовления изделий в технологической системе, контроля и испытаний. Различие между  $U_2^1$  и  $U_2^2$  – форма представления и объем информации.

Оператор  $P_3$  – выполнение работ по ТхПП, предусмотренных заданием  $T_3$ . Он выполняет следующие 4 функции:

- 1) проведение ТхПП и подготовка информации для оператора  $R_0$ :  $P_3^1 : T_3 \times Y_3 \times U_2 \rightarrow X_3$ ;
- 2) разработка предложений для оператора  $P_2$  по повышению уровня технологичности конструкции изделия:  $P_3^2 : T_3 \times U_2^1 \rightarrow \Delta U_2^1$ ;
- 3) передача информации оператору  $P_4$  (планирование производства):  $P_3^3 : Y_3 \times T_3 \times U_2^1 \rightarrow U_3^1$ , где  $U_3^1$  – множество параметров технологических процессов по трудозатратам и станкозатратам, необходимых для планирования работ оператором  $P_4$ ;
- 4) подготовка информации для оператора  $Q_1$ , а именно:  $P_3^4 : T_3 \times U_2^1 \rightarrow U_3^2$ , где  $U_3^2$  – множество параметров, определяющих реализацию технологических процессов на рабочих местах (технологические процессы, инструкции, управляющие программы для станков с ЧПУ).

Оператор  $P_4$  – планирование производства (ПП), то есть планирование работ в производственной системе. Он выполняет две функции:

- 1) подготовка информации для оператора  $R_0$ :  $P_4^1 : T_4 \times Y_4 \times U_3^1 \rightarrow X_4$ ;
- 2) разработка управляющих воздействий на производственную систему – формирование планов работ по изготовлению НПП:  $P_4^2 : Y_4 \times T_4 \times U_3^1 \times S_1^2 \times \Delta U_4 \times \Delta S_1^1 \rightarrow U_4$ , где  $S_1^2$  – множество параметров, характеризующих состояние производственной системы (загрузка рабочих мест, заказы в исполнении, ход выполнения планов и т. д.);  $U_4$  – множество параметров, характеризующих планы различных уровней по выпуску образца продукции и задания на определение состояния ПС;  $\Delta S_1^1$  – множество параметров – сведения об изделиях, не прошедших контроль и нуждающихся в доработке (переделке);  $\Delta U_4$  – множество параметров, характеризующих диспетчирование работ в ПС по данному изделию.

Оператор  $P_5$  – испытания образца наукоемкой продукции (И). Его функция – подготовка информации для оператора  $R_0$ :  $P_5^1 : S_2 \times T_5 \times Y_5 \times U_2^2 \rightarrow X_5$ , где  $S_2$  – материальная связь – изделие (образец НП).

*Четвертый уровень* – управление технологическими процессами (АСУ ТП). Он представлен операторами  $Q_1$  и  $Q_2$ .

Оператор  $Q_1$  – изготовление опытного образца изделия НП. Выполняемые им три функции следующие:

- 1) выпуск изделий и подготовка информации для оператора  $Q_2$ :  $Q_1^1 : M \times U_2^2 \times U_3^2 \times U_4 \rightarrow S_1^1$ , где  $M$  – материалы и покупные изделия;  $S_1^1$  – изготовленные образцы НП и сведения о их готовности;
- 2) диспетчирование работ в ПС:  $Q_1^2 : U_4 \rightarrow \Delta U_4$ ;
- 3) определение фактического состояния ПС:  $Q_1^3 : U_4 \rightarrow S_1^2$ .

Оператор  $Q_2$  – контроль деталей, узлов и изделий целиком. Он выполняет следующие три функции:

- 1) передача информации о качестве работ в производственной системе (ПС) оператору  $Q_0$ :  $Q_2^1 : U_2^2 \times S_1^1 \rightarrow X_6$ .
- 2) подготовка и передача сведений о необходимости доработки изделий или их переделке:  $Q_2^2 : U_2^2 \times S_1^1 \times Y_6 \rightarrow \Delta S_1^1$ .
- 3) передача изделий на испытание:  $Q_2^3 : U_2^2 \times S_1^1 \times Y_6 \rightarrow S_2$ .

Анализируя данную модель, можно отметить следующее.

В модели воздействиями  $Y_1$ – $Y_5$  определяется завершение работ по каждому этапу или формирование итерационных процедур (принципы 2 и 5).

Учитывая стадийность работ по каждому этапу (для стадии последующего этапа требуется лишь часть информации предыдущего), возможно совмещение работ разных этапов во времени (принцип 6).

Показатели  $\{K_i\}$  и производные от них критерии логически увязаны с техническим заданием для каждого этапа  $\{T_i\}$  (принцип 7).

В модели отсутствует дублирование функций, что обуславливает определенность решений (принцип 4).

Иерархичность и смысл процедур соответствуют иерархии принятия решений при управлении производственными системами в машиностроении (принцип 3).

Состав этапов, управляемых АСУ ТППИИ, вписывается в логику структуры жизненного цикла машиностроительных изделий (принцип 1).

Реализацию остальных принципов необходимо выполнять при разработке временных моделей и алгоритмов принятия решений в АСУ ТППИИ.

### Организация работы с АСУ ТППИИ

Автоматизированная система реализуется как экспертная система поддержки принятия решений, то есть как “советующая” лицу, принимающему решение (ЛПР). Таковым является руководитель проекта по созданию образца НГП либо, по его распоряжению, для отдельных этапов может назначаться кто-либо из состава проектной группы. Оценка проектных решений выполняется последовательно на каждом этапе выбранными экспертами с помощью заранее доведенной до них системой частных критериев  $K = \{K_i\}$ . Автоматизированной системой на основе частных критериев синтезируется обобщенный критерий, помогающий ЛПР принять решение о продолжении работ на данном этапе либо о переходе на следующий. Эксперты работают анонимно, с учетом возможностей системы могут работать удаленно и быть представителями других организаций. Подбор экспертов – весьма важная задача, требует отдельного разговора, поэтому здесь подробно не затрагивается.

По завершении работ на всех этапах определяется общая оценка качества проекта.

### Заключение

Дальнейшим этапом работ должно явиться создание на основе правил преобразования и обмена информацией операторами представленной теоретико-множественной и темпоральной (временной) модели функционирования АСУ ТППИИ. Указанные две модели (теоретико-множественная и временная) явятся основой для разработки методов и алгоритмов принятия решений в автоматизированной системе.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 14-01-00324.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Бурдо Г. Б. Интеллектуальные процедуры планирования и управления в производственных системах геофизического приборостроения // Программные продукты и системы. 2011. № 3 (95). С. 107–110.
2. Бурдо Г. Б., Сорокин А. Ю. Модель автоматизированной системы управления качеством в многономенклатурном машиностроительном производстве // Программные продукты и системы. 2013. № 4 (104). С. 248–253.
3. Дитрих Я. Проектирование и конструирование: Системный подход. Пер. с польского. М.: Мир, 1981. 456 с.
4. ГОСТ ISO 9001-2011. Системы менеджмента качества. М.: Стандартинформ, 2012. 36 с.
5. Еремеев А. П., Куриленко И. Е. Средства темпорального вывода для интеллектуальных систем реального времени / Интеллектуальные системы: Коллективная монография. Вып. 4. М.: Физматлит, 2010. С. 222–252.
6. Колчин А. Ф., Овсянников М. В., Стрекалов А. Ф., Сумарков С. В. Управление жизненным циклом продукции. М.: Анархист, 2002. 304 с.
7. Месарович М., Такаха Я. Общая теория систем: математические основы. М.: Мир, 1978. 311 с.
8. Рыбина Г. В. Основы построения интеллектуальных систем: Учебное пособие. М.: Финансы и статистика; Инфра-М, 2010. 432 с.

*Рукопись рассмотрена на научно-техническом совете  
ООО “Нефтегазгеофизика” и рекомендована к публикации*