

ОПТИМАЛЬНАЯ АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ГАЗОДОБЫВАЮЩИМИ СКВАЖИНАМИ

А.М. Шубладзе, Ф.Ф. Пашенко, С.В. Гуляев,
А.Ф. Пашенко, В.Р.Ольшванг, О.Н.Белова
ИПУ РАН, email: feodor@ipu.ru

Введение

Вопросы создания интеллектуальных месторождений углеводородного сырья сегодня привлекают внимание ведущих нефтегазовых компаний. Важным этапом создания интеллектуальных месторождений является этап автоматизации и оптимизации работы газодобывающих скважин.

Одними из наиболее сложных проблем автоматизации работы как одной газодобывающей скважины, так и куста скважин, эксплуатирующихся в тяжелых климатических условиях Сибири и Дальнего Востока, являются существенная нестационарность параметров, характеризующих режимы работы скважин, и низкая надежность технических средств автоматики, используемых для управления технологическими процессами на газовых месторождениях.

Первая из указанных проблем приводит к тому, что найденные по одному из критериев оптимальности настроечные параметры системы управления, определяемые начальными параметрами скважин, в процессе эксплуатации перестают быть оптимальными, что во многих случаях приводит не только к потере качества процессов регулирования, но и к потере устойчивости. Для исключения таких неприятных фактов технологи вынуждены переходить от автоматического режима управления к ручному, что, естественно, отрицательным образом сказывается на производительности скважин.

Вторая из указанных выше проблем состоит прежде всего в низкой надежности электромеханических исполнительных органов, обрабатывающих сигналы управления ПИ и ПИД регуляторов, используемых в контурах систем управления скважинами. Причиной низкой надежности исполнительных органов являются их частые включения, приводящие в условиях низких температур к быстрому износу.

В работе предложены методы и модели оптимального адаптивного управления, направленные на повышение эффективности добычи газа. Для решения первой проблемы предложены адаптивные средства автоматического регулирования, которые позволят практически полностью компенсировать изменение параметров скважин или, точнее

говоря, их расходных характеристик. Для решения второй проблемы предложено ввести в состав системы управления специальные устройства, значительно уменьшающие число включений исполнительных органов и при этом не снижающие качественных показателей работы систем управления и эффективности газодобывающих скважин. Для реализации оптимального управления разработана модель газодобывающей скважины.

Моделирование динамических процессов расхода газа в газодобывающей скважине и исследование ее статического режима

Газодобывающая скважина, газ из которой через регулирующий клапан поступает непосредственно во входной коллектор здания переключающей арматуры (ЗПА), изображена на рис. 1.

При этом используются следующие обозначения:

p_{nd} – призабойное давление;

p_c – давление газа перед регулирующим клапаном;

p_k – давление газа после регулирующего клапана;

$p_{зна}$ – давление газа во входном коллекторе ЗПА;

q_c – расход газа из скважины;

q_k – расход газа после регулирующего клапана;

$u_{им}$ – сигнал управления исполнительным механизмом регулирующего клапана.

Регулирующий клапан с помощью исполнительного механизма ИМ регулирует как расход газа q_c , вытекающего из скважины, так и расход газа q_k , втекающего во входной коллектор ЗПА. Площадь проходного сечения регулирующего клапана определяется величиной сигнала $u_{им}$.

Физические процессы в газодобывающих скважинах таковы, что при скачкообразном положительном приращении $\Delta u_{им} > 0$ сигнала $u_{им}$ поток газа q_k также скачком увеличивается до некоторого значения $q^1 > q_k$, где расход q_k соответствовал значению управления $u_{им}$. Затем расход q^1 монотонно уменьшается (через время запаздывания) до некоторого значения q^2 из диапазона $q_k < q^2 < q^1$ и к значению q^2 из диапазона $q_k > q^2 > q^1$ при $\Delta u_{им} < 0$.

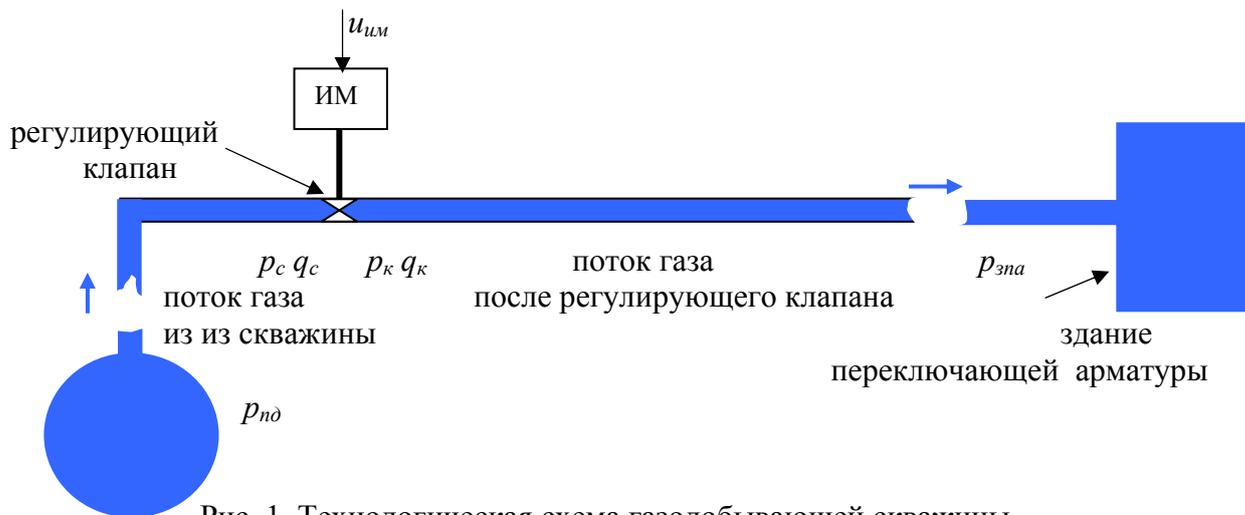


Рис. 1. Технологическая схема газодобывающей скважины

Такой физический процесс может быть аппроксимирован динамической моделью, блок-схема которой представлена на рис. 2. На этом рисунке, как и на рис. 1, ИМ – пропорциональный исполнительный механизм, который управляется сигналом $u_{им}$ и задает положение регулирующего клапана. Динамические свойства модели задаются блоками, в которых:

1) формируется функция $p_{nd}(1 - \alpha u_{им})$, подаваемая на вход инерционного звена с запаздыванием и определяющая с помощью призабойного давления p_{nd} и известного положения рабочего органа $u_{им}$ давление p_c на входе клапана;

2) формируется функция $p_{зна} + \beta q_k$, также подаваемая на вход инерционного звена с запаздыванием и определяющая давление в коллекторе p_k на выходе регулирующего клапана с помощью давления газа $p_{зна}$ в ЗПА и расходом скважины q_k ;

3) формируется расход скважины q_k в соответствии с выражением $k_q u_{им} \sqrt{\frac{p_c - p_k}{p_c}}$ при известном положении регулирующего клапана $u_{им}$, а также полученных значениях p_c и p_k .

Параметры α , β , k_q , T_c , τ_c , T_k и τ_k , входящие в указанные выше блоки, определяют динамические свойства модели и зависят от давлений p_c , p_k и потока газа q_k . При изменении в процессе эксплуатации давлений и расхода газа параметры α , β , k_q , T_c , τ_c , T_k и τ_k также меняются, что делает рассматриваемый процесс нестационарным со всеми вытекающими из этого проблемами, связанными с решением задач эффективного и высокоточного управления во всех возможных режимах эксплуатации скважин.

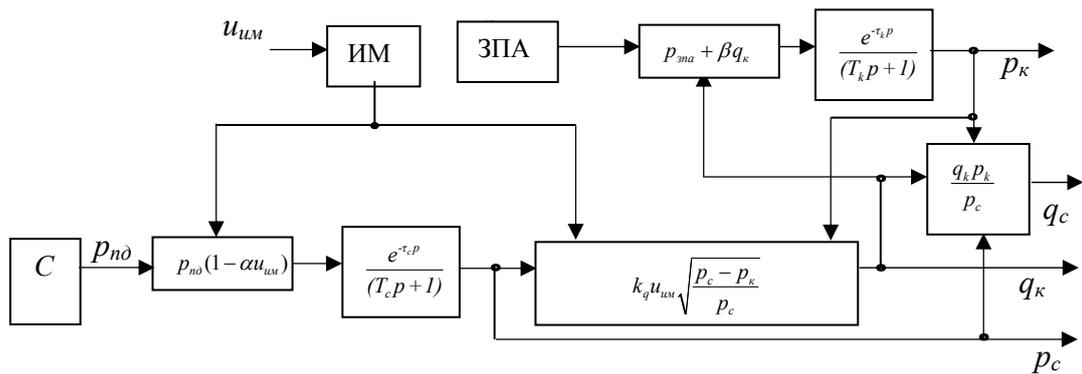


Рис. 2. Блок-схема модели процессов газодобывающей скважины

Адекватность процессов в модели, блок-схема которой изображена на рис. 2, с процессами в реальной скважине, изображенной на рис. 1, покажем, используя имитационное моделирование блок-схемы на языке Матлаб 5. Результаты моделирования представлены на рис. 3.

Инерционные звенья с запаздыванием моделировались тремя последовательно соединенными инерционными звеньями с постоянной времени $T=12$ в условных единицах времени, где цифра 1 вверху слева обозначает p_{nd} , цифра 2 слева – u_{UM} , $alfa1$ – настраиваемый параметр α , p_{zpa} – давление p_{za} , выходные стрелки, направленные в правую сторону, соответствуют обозначениям на рис. 2.

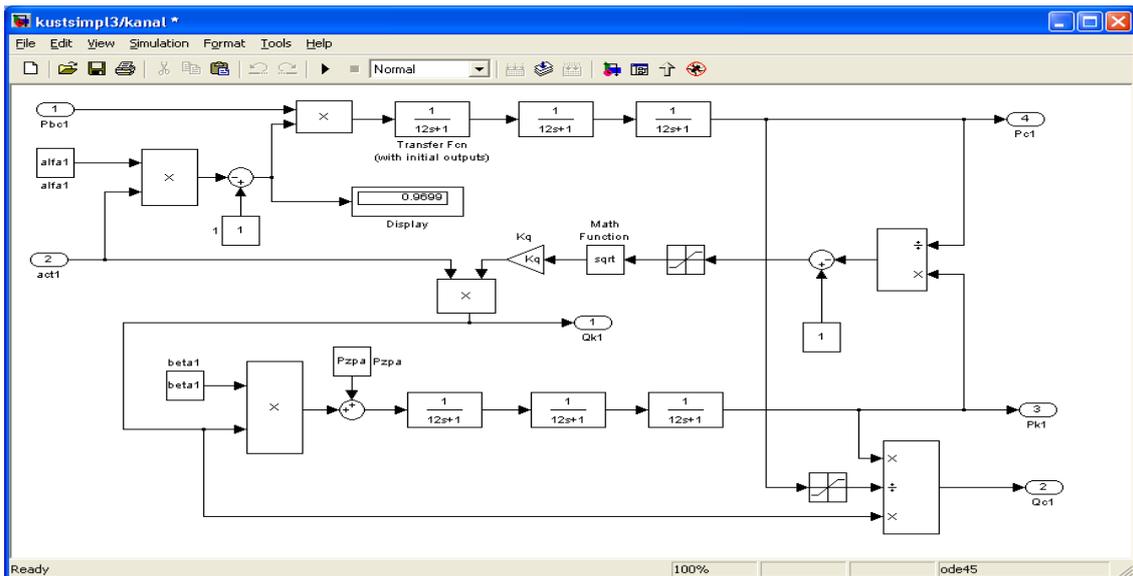


Рис. 3. Блок-схема имитационной модели газодобывающей скважины

На рис. 4 изображены реакции потока q_k и давлений p_c и p_k на положительный скачок положения регулирующего клапана $u_{им}$. Приведенные на рис. 4 графики соответствуют реальным процессам, протекающим в газодобывающей скважине. В момент положительного скачка положения регулирующего клапана (10-я секунда верхнего графика) расход $q_k(t)$, как следует из третьего сверху графика, в тот же момент времени скачком увеличивается и в течение определенного времени (на графике 3,5 сек) сохраняется постоянным. Затем $q_k(t)$, монотонно уменьшаясь, стремится к некоторому установившемуся значению. Давление $p_c(t)$ после скачка положения регулирующего клапана монотонно падает, также стремясь к некоторому установившемуся значению (второй сверху график), а давление $p_k(t)$ (нижний график) монотонно растет.

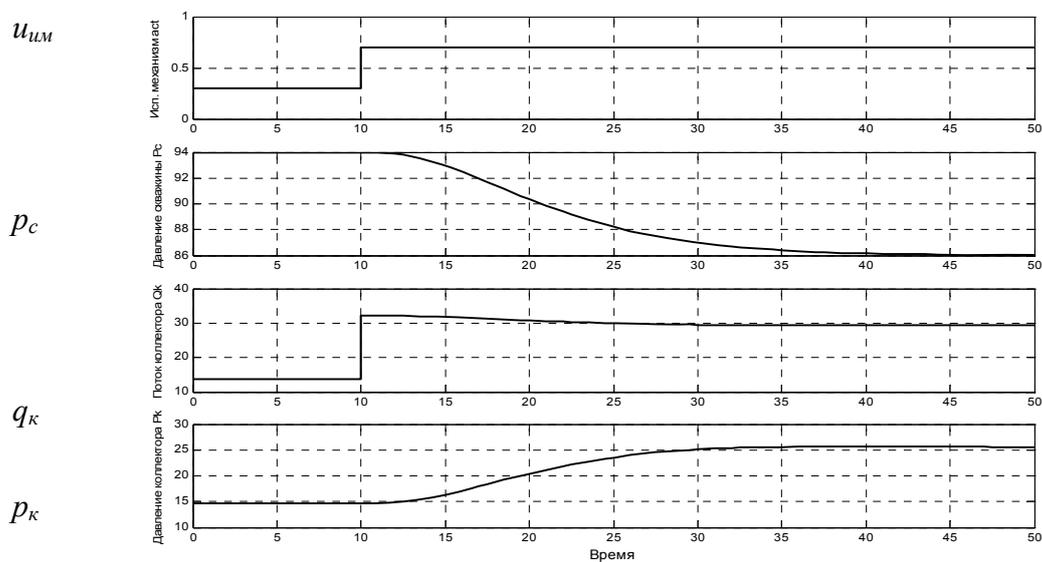


Рис. 4. Влияние положения регулирующего клапана $u_{им}$ на расход и давление газа

Из приведенных рассуждений следует, что поведение модели рис. 2 адекватно поведению скважины (рис. 1), в которой реакции $q_k(t)$, $p_c(t)$ и $p_k(t)$ на положительный скачок положения регулирующего клапана аналогичны описанным выше процессам.

Рассмотрим статические зависимости модельных параметров q_c , p_c и $q_k(t)$, $p_k(t)$ от положения регулирующего клапана $u_{им}$.

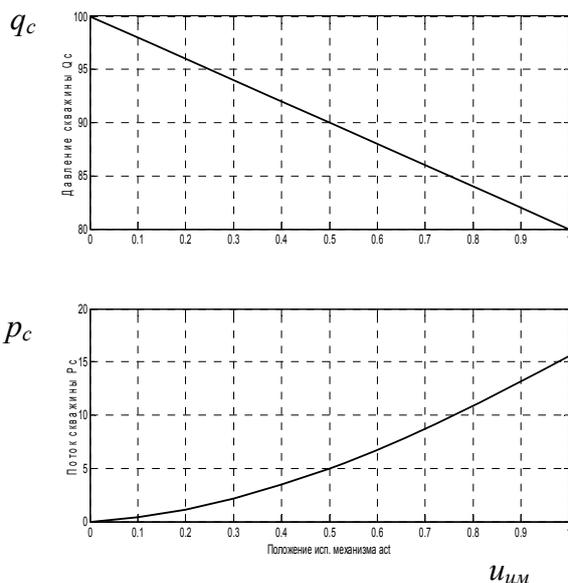


Рис. 5. Зависимости расхода q_c до регулирующего клапана давления газа p_c от u_{ism}

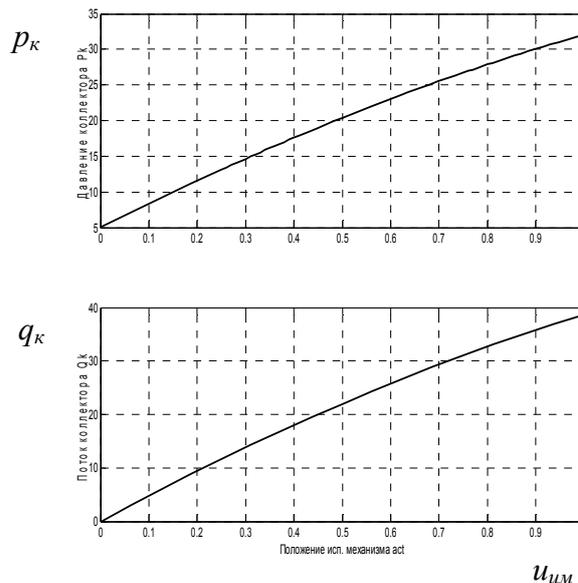


Рис. 6. Зависимости расхода газа q_k после регулирующего клапана и давления p_k от u_{ism}

На верхнем и нижнем графиках рис. 5 показаны зависимости расхода газа q_c до регулирующего клапана и давления p_c от положения регулирующего клапана u_{ism} соответственно. На верхнем и нижнем графиках рис. 6 показаны зависимости расхода газа q_k после регулирующего клапана и давления p_k от положения регулирующего клапана u_{ism} соответственно. Графики (рис. 4–6) построены для случая $p_{nd}=100$, $p_{zna}=5$, $\alpha=0.2$, $\beta=0.7$, $T_c=\tau_c=T_k=\tau_k=5$ и $k_q=50$, время на графиках условно и одному делению соответствует 4 секунды.

Из приведенных зависимостей (рис. 4–6) следует, что в статических режимах работы динамическая модель (рис. 2) полностью соответствуют аналогичным режимам работы реальной газодобывающей скважины, представленной на рис. 1.

Моделирование процессов стабилизации давления в газодобывающей скважине с помощью обычных ПИД регуляторов и адаптивных ПИД регуляторов

Рассмотрим теперь функционирование модели скважины (рис. 2) в режиме управления. На рис. 7 изображена газодобывающая скважина с элементами системы оптимального в смысле ресурса работы исполнительного органа управления этой

скважиной, включающей в себя датчик давления газа в коллекторе ДД_к с выходным сигналом, оценивающим давление p_k , устройство сравнения, формирующее ошибку регулирования $\varepsilon = p_{кз} - p_k$, инерционный фильтр, ПИД регулятор и временной квантователь, минимизирующий число включений исполнительного механизма ИМ [1].

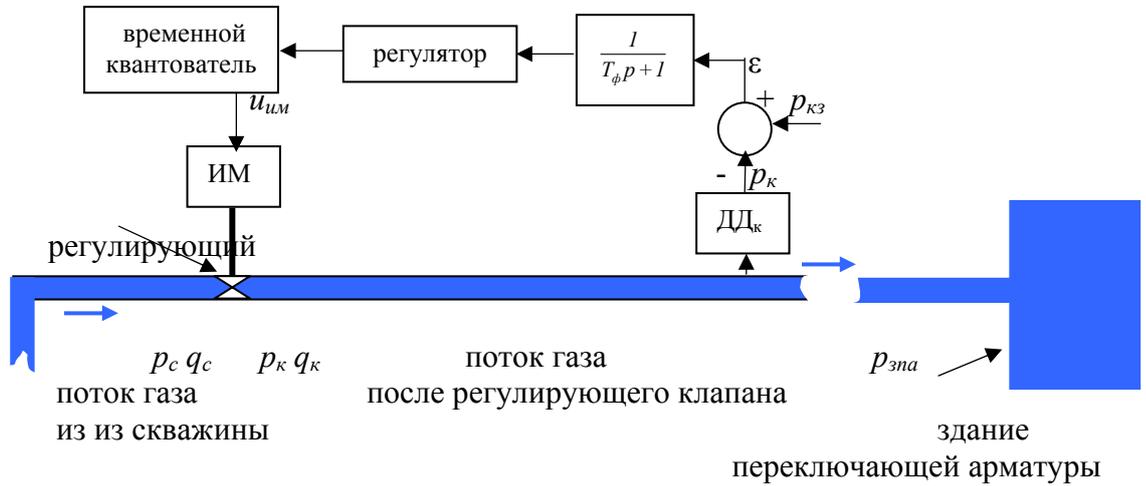


Рис. 7. Структура системы оптимального управления числом включений исполнительного механизма

Функционирование временного квантователя с ПИД регулятором описывается следующей системой уравнений

$$u_{\text{ПИДкв}}(t) = \begin{cases} u_{\text{ПИД}}(t_i) = k_{\text{п}}(\varepsilon(t_i) + k_{\text{и}} \int_0^{t_i} \varepsilon(\tau) d\tau + k_{\text{д}} \varepsilon'(t_i)) & \text{при } t_i \leq t < t_{i+1}, \\ u_{\text{ПИД}}(t_{i+1}) = k_{\text{п}}(\varepsilon(t_{i+1}) + k_{\text{и}} \int_0^{t_{i+1}} \varepsilon(\tau) d\tau + k_{\text{д}} \varepsilon'(t_{i+1})) & \text{при } t = t_{i+1}, \end{cases} \quad (1)$$

где $i=1, 2, 3, 4, \dots$, $\varepsilon(t)$ – ошибка регулирования, $g(t)$ – задающее воздействие, $x(t)$ – регулируемая координата, $k_{\text{п}}$ и $k_{\text{и}}$ и $k_{\text{д}}$ – настроечные параметры ПИД управления, которые могут быть выбраны, например, по методике, описанной в [2], $t_{i+1} - t_i = T_{\text{кв}}$ – период квантования, который определяется динамическими параметрами системы управления и значительно превосходит период квантования цифрового ПИД регулятора.

На рис. 8 изображена блок-схема системы оптимального управления, соответствующая рис. 7, а на рис. 9 – ее аналог на языке Матлаб 5.

Результаты анализа переходных процессов приведены на рис. 10 – 12.

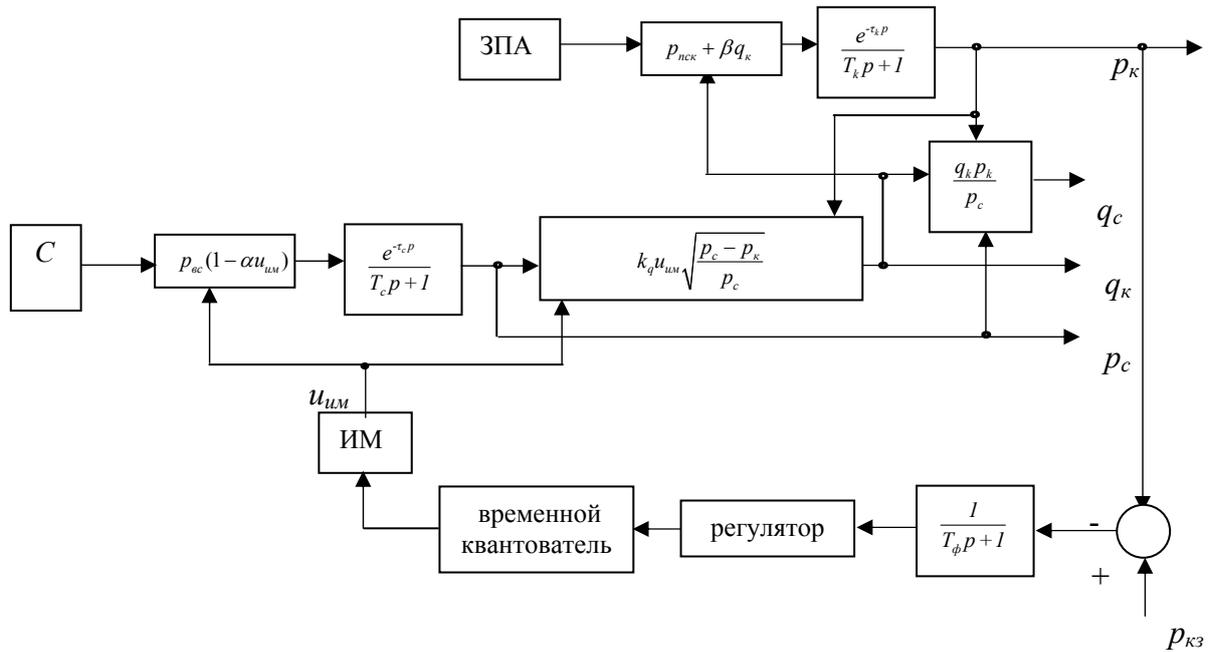


Рис. 8. Блок-схема системы оптимального управления

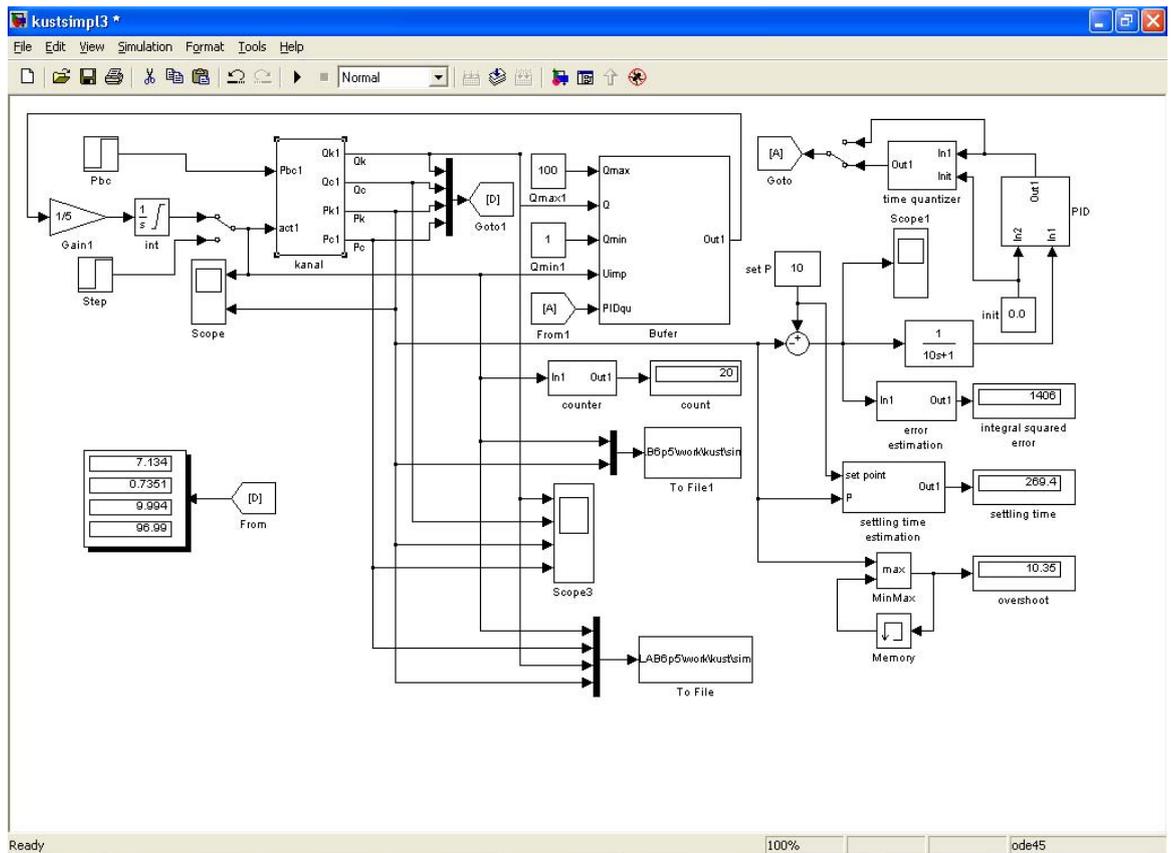


Рис. 9. Имитационная схема системы оптимального управления на языке Матлаб 5

На рис. 10 представлен переходной процесс при отработке давления p_k в коллекторе скважины от значения $p_{ЗПА}$, соответствующего $u_{ум}=0$, до заданного значения давления $p_{кз}=20$. В качестве регулятора использовался ПИД регулятор с передаточной функцией вида $w_{рег}(p) = k_{П} \left(1 + \frac{k_{И}}{p} + k_{Д}p \right)$, где $k_{П} = 0,019$, а $k_{И} = 0,1$, $k_{Д} = 2$. Временной квантователь работал с дискретизацией 0.01 сек.

При этом число изменений управляющего сигнала $u_{ум}$ равнялось 110, интегральная ошибка – 3615, время установления давления – 78, перерегулирование – 1,47.

На рис. 11 представлен переходной процесс при отработке давления p_k в коллекторе скважины от значения $p_{ЗПА}$ при $u_{ум}=0$ до заданного значения давления $p_{кз}=20$. В качестве регулятора использовался также ПИД регулятор с настройками $k_{П} = 0,016$, а $k_{И} = 0,09$, $k_{Д} = 2$. Временной квантователь работал с дискретизацией 5. При этом число изменений $u_{ум}$ равнялось 13, интегральная ошибка – 4463, время установления давления – 88, перерегулирование – 1,27.

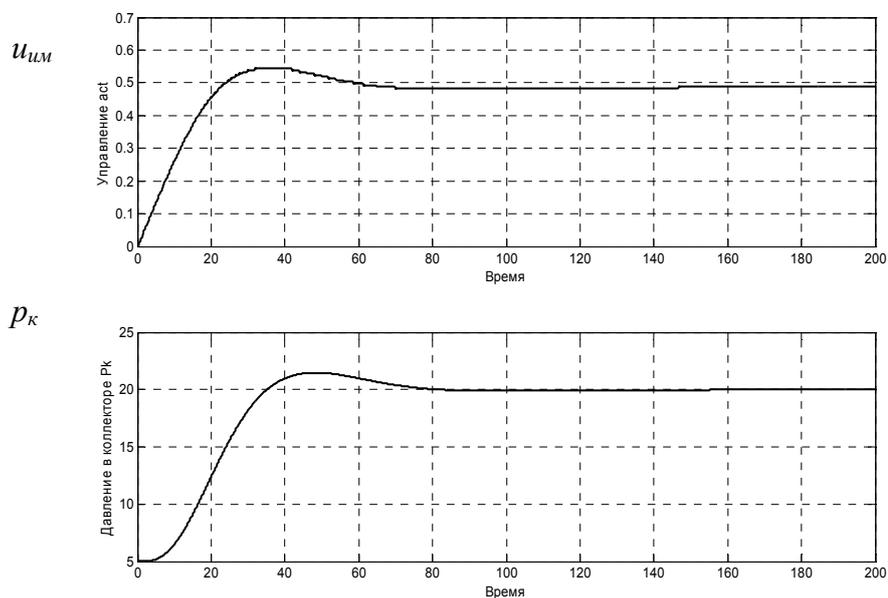


Рис. 10. Переходной процесс изменения давления p_k при изменении $u_{ум}$ до заданного давления 20 с временным квантователем с дискретизацией 0,01 сек.

На рис. 12 изображен переходной процесс при отработке давления p_k в коллекторе скважины от значения $p_{ЗПА}$ при $u_{ум}=0$ до заданного значения давления $p_{кз}=20$ обычным

ПИД регулятором с квантователем, но с другими настройками ($k_{II} = 0,019$, а $k_{II} = 0,1$, $k_D = 2$). Из сравнения переходных процессов рис. 10 – 12 следует, что введение в контур управления временного квантователя позволяет, существенно уменьшив число включений исполнительного органа, практически не ухудшить качественные показатели работы ПИД систем управления.

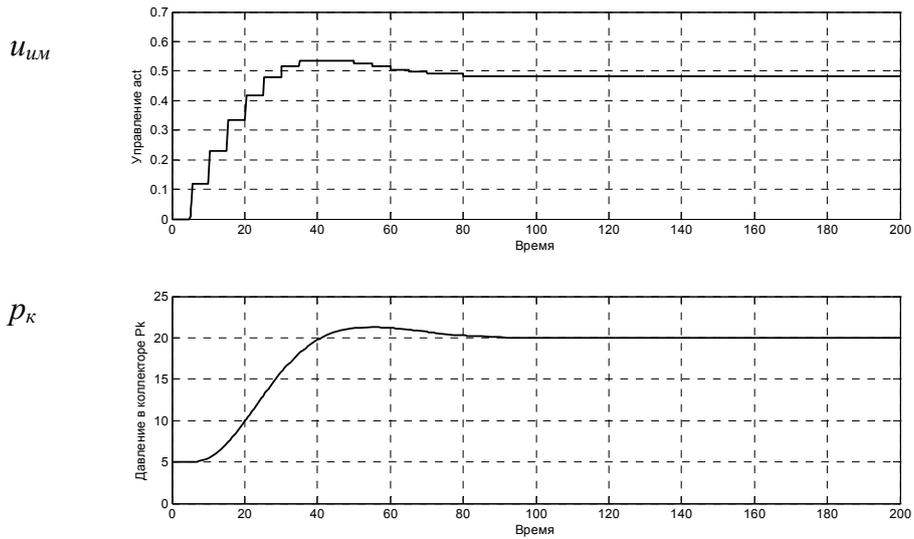


Рис. 11. Переходной процесс изменения давления p_k от изменения u_{UM} с временным квантователем с дискретизацией 5

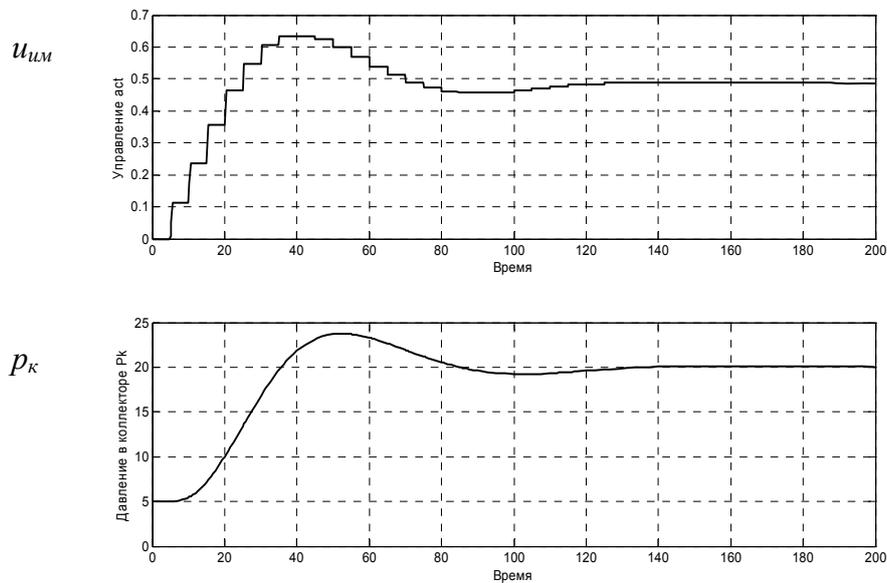


Рис. 12. Переходной процесс изменения давления p_k , ПИД регулятором до заданного давления 20

На рис. 13 представлен переходной процесс при отработке давления p_k в коллекторе скважины от значения $p_{ЗПА}$ при $u_{им}=0$ до заданного значения давления $p_{кз}=30$.

В качестве регулятора использовался ПИД регулятор с настройками $k_{П} = 0,018$, а $k_{И} = 0,08$, $k_{Д} = 2,4$.

Временной квантователь работал с дискретизацией 5. При этом число изменений управляющего сигнала $u_{им}$ равнялось 13, интегральная ошибка – 4463, время установления давления – 88, перерегулирование – 1,27. Процессы, представленные на рис. 11 – 13, моделировались при $p_{но}=100$, $p_{зна}=5$, $\alpha=0.2$, $\beta =0.7$, $T_c =\tau_c=T_k =\tau_k=3,5$ и $k_q=50$. Одному делению на графиках этих рисунков по оси времени соответствует 4 секунды.

На рис. 14 изображен переходной процесс при отработке давления p_k в коллекторе скважины от значения $p_{ЗПА}$ при $u_{им}=0$ до заданного значения давления $p_{кз}=10$. Настройки ПИД регулятора те же, что и при переходном процессе (рис. 13), т.е. $k_{П} = 0,018$, $k_{И} = 0,08$ и $k_{Д} = 2,4$. Временной квантователь работал с дискретизацией 5 сек.

Процесс, изображенный на рис. 14, моделировался при $p_{но}=100$, $p_{зна}=5$, $\alpha=0.2$, $\beta =0.7$, $T_c =\tau_c=T_k =\tau_k=12$ и $k_q=50$. Из рис. 14 следует, что при сохранении настроек регулятора, соответствующих $T_c =\tau_c=T_k =\tau_k=3,5$, система управления становится неустойчивой.

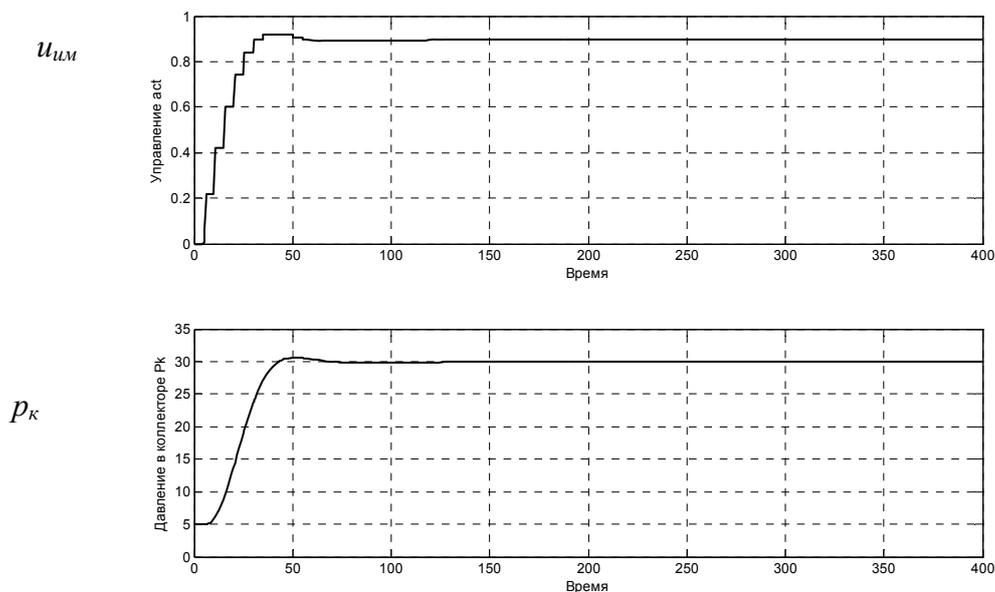


Рис. 13. Переходной процесс изменения давления p_k ПИД регулятором с параметрами $k_{П} = 0,018$, $k_{И} = 0,08$ и $k_{Д} = 2,4$ до давления $p_{кз}=30$

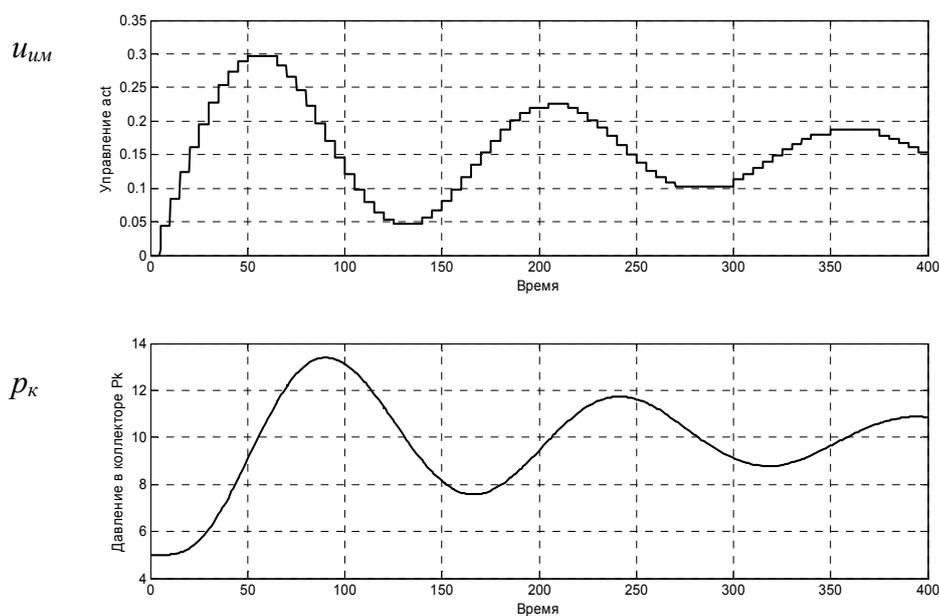


Рис. 14. Переходный процесс изменения давления p_K до заданного давления $p_{K3}=10$

На рис. 15 представлен переходной процесс отработки давления p_K в коллекторе скважины при $p_{K3}=10$. В этом случае с целью обеспечения устойчивости в контуре управления настроечные параметры регулятора были взяты равными $k_{II} = 0,005$, а $k_{II} = 0,09$, $k_D = 2,2$.

Из графиков рис. 10 –15 можно сделать два вывода:

- 1) введение квантования по времени практически не ухудшает качественных показателей работы рассмотренной системы управления в сравнении с качественными показателями работы обычного ПИД регулятора с высокой частотой изменения сигнала управления;
- 2) при уменьшении давления газа в коллекторе существенным образом меняются параметры технологического объекта управления, которые при постоянстве настроек регулятора приводят к потере устойчивости системы управления.

Первый вывод свидетельствует о целесообразности введения в состав системы управления временного квантователя, наличие которого из-за существенного уменьшения числа включений исполнительного механизма позволит многократно увеличить его ресурс. Второй вывод показывает необходимость использования в контуре управления адаптивного регулятора, который мог бы в ходе технологического процесса оценивать изменяющиеся параметры и по результатам оценок оптимальным образом корректировать

настройки регулятора с тем, чтобы во всех возможных режимах работы скважины гарантированно обеспечивать устойчивое и качественное регулирование.

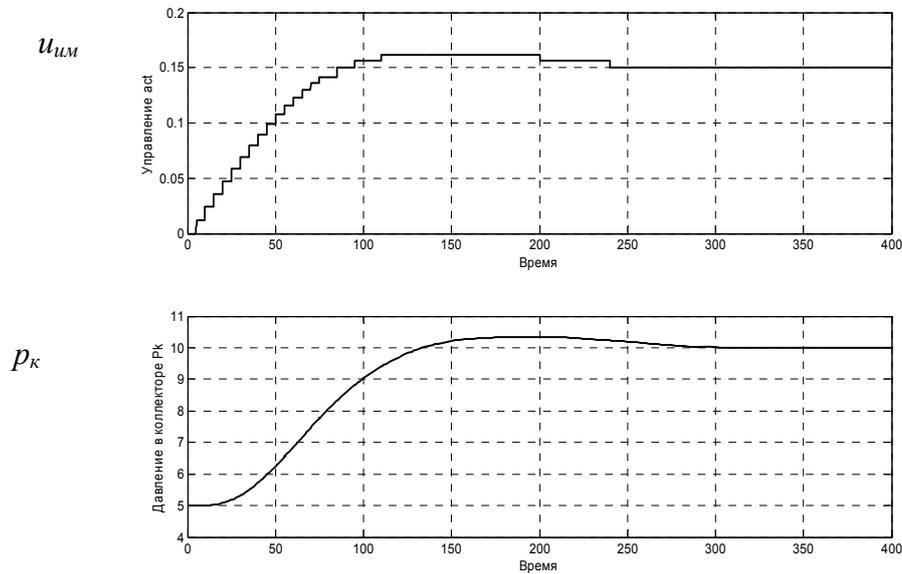


Рис. 15. Переходный процесс изменения давления p_K ПИД регулятором до заданного давления $p_{кз}=10$

Адаптивное управление осуществлялось на основе модели (рис. 8), в которой обычный ПИД регулятор заменен адаптивным регулятором. В качестве адаптивного регулятора взята одна из версий регулятора, предложенного в работах [1, 2]. В основе адаптивного регулятора лежит ПИД закон регулирования

$$u_{ПИДа}(t) = k_{П}(t)(\varepsilon(t) + k_{И} \int_0^t \varepsilon(\tau) d\tau + k_{Д} \varepsilon'(t)), \quad (2)$$

общий коэффициент передачи $k_{П}(t)$ которого изменяется в соответствии с уравнениями:

$$k_{П}(t) = k_{н} + \gamma y(t), \quad (3)$$

$$T_a y'(t) + y(t) = u_{ПИДа,кв}(t),$$

где $T_a > 50$ условных единиц, $k_{н} > 0$ и $\gamma > 0$ – настраиваемые параметры адаптивного регулятора. На рис. 16 изображена блок-схема адаптивного ПИД регулятора, который входит в качестве регулятора в блок-схему рис. 8.

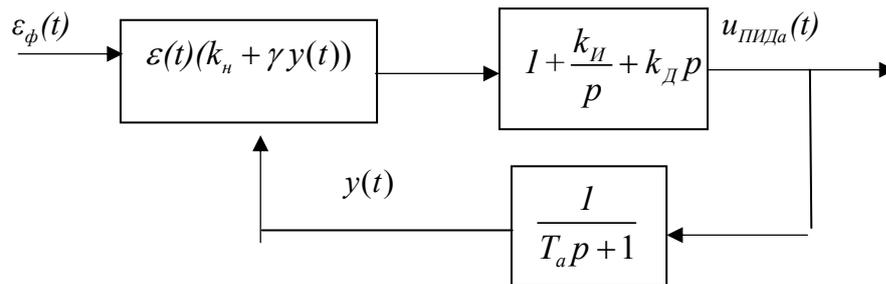


Рис. 16. Блок-схема адаптивного ПИД регулятора

На рис. 17 изображен переходный процесс при отработке давления p_k в коллекторе скважины от значения $p_{зПА}$ при $u_{цм}=0$ до заданного значения давления $p_{кз}=10$. Начальное значение $k_n = 0,0024$, конечное значение, найденное в режиме адаптации, равно $k_n(t) = k_n + \gamma u_{ПИДa}(t) = 0,005125$. На верхнем графике рис. 17 изображен сигнал управления $u_{цм}$, на среднем – давления p_k , на нижнем – изменение в переходном процессе общего коэффициента регулятора $k_n(t)$. Из графиков рис. 17 следует, что процесс, который при настройках, соответствующих рис. 14, был неустойчив, за счет адаптации стал не только устойчивым, но и достаточно качественным.

Время переходного процесса, изображенного на рис. 17, составляет примерно 170 условных единиц, в то время как оптимально настроенный процесс (рис. 15) длился примерно 200 условных единиц.

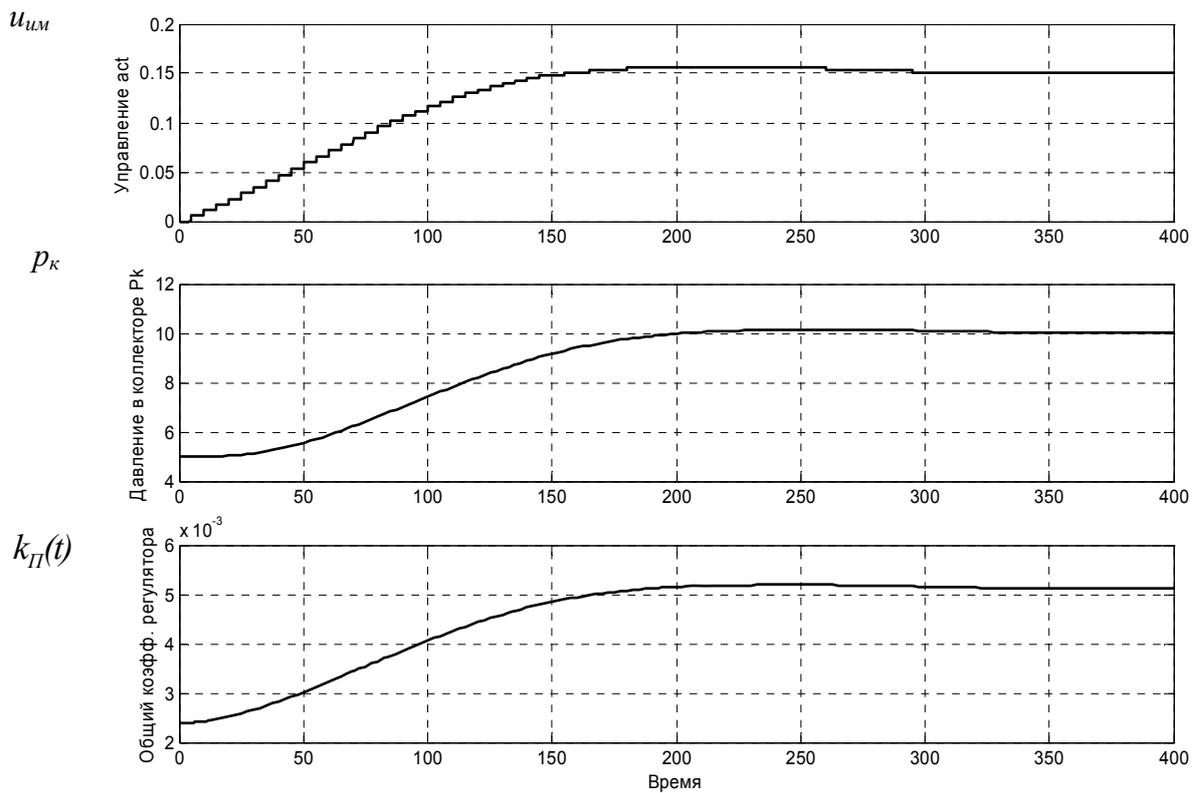


Рис. 17. Переходный процесс изменения давления p_k в коллекторе до уровня $p_{кз}=10$ при использовании адаптивного ПИД регулятора

На рис. 18 представлен переходный процесс при отработке давления p_k в коллекторе скважины от значения $p_{ЗПА}$ при $u_{им}=0$ до заданного значения давления $p_{кз}=20$. Начальное значение $k_n = 0,0024$, конечное значение, найденное в режиме адаптации, равно $k_{П}(t) = k_n + \gamma u_a(t) = 0,01115$. На верхнем графике (рис. 18) – сигнал управления $u_{им}$, на среднем - давление p_k , на нижнем – изменение в переходном процессе общего коэффициента регулятора $k_{П}(t)$. Процессы адаптивного управления (рис. 18) в этом случае несколько уступают по быстродействию процессам, представленным на рис. 11, т.к. в случае, рассмотренном на рис. 11, общий коэффициент усиления $k_{П}$ в начальный момент переходного процесса выбирался из расчета высокого быстродействия системы управления и равнялся 0,016, в то время как в случае адаптивного управления начальное значение $k_{П}(0) = 0,0024$, которое затем в процессе работы увеличилось примерно в 5 раз.

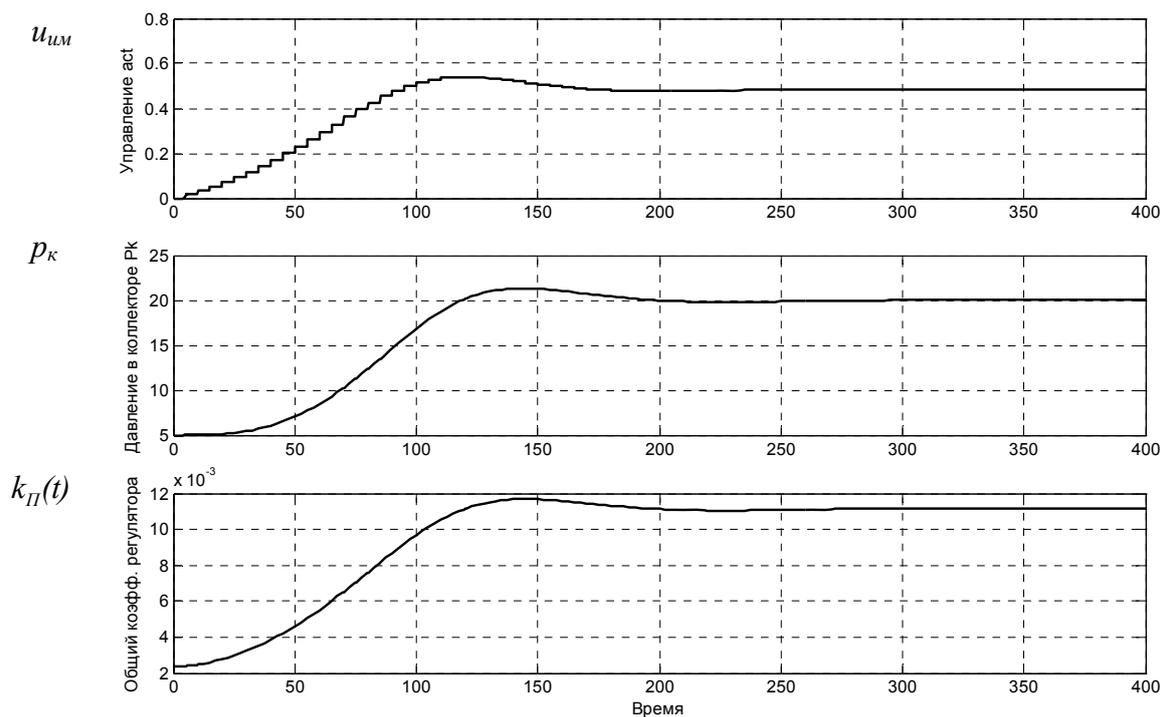


Рис. 18. Переходный процесс изменения давления p_k до уровня $p_{кз}=20$ с применением адаптивного ПИД регулятора

На рис. 19 показан переходный процесс при отработке давления p_k в коллекторе скважины от значения $p_{ЗПА}$ при $u_{UM}=0$ до заданного значения давления $p_{кз}=30$. Начальное значение $k_n = 0,0024$, конечное значение, найденное в режиме адаптации, $k_{PI}(t) = k_n + \gamma u_a(t) = 0,0185$. На верхнем графике рис. 19 – сигнал управления u_{UM} , на среднем - давление p_k , на нижнем – изменение в переходном процессе общего коэффициента регулятора $k_{PI}(t)$. Процессы адаптивного управления, как и в предыдущем случае, по быстрдействию несколько уступают аналогичным процессам рис. 13 по тем же причинам, о которых говорилось для случая рис. 18.

Таким образом, введение в состав системы управления газодобывающей скважиной адаптивного регулятора позволило обеспечить высокую эффективность работы этой системы на всех режимах стабилизации давления в коллекторе скважины.

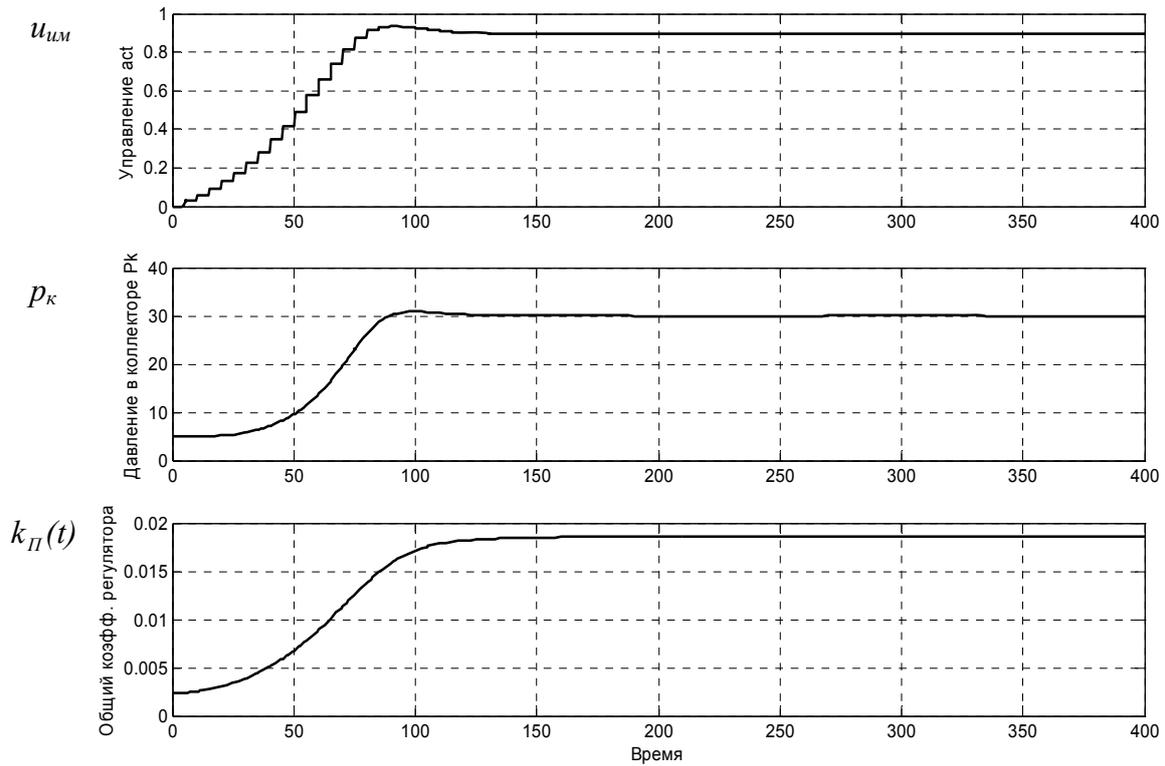


Рис. 19. Переходный процесс изменения давления p_k до заданного уровня $p_{кз}=30$ при использовании адаптивного ПИД регулятора

Заключение

Исследованы вопросы управления газодобывающими скважинами. Показано, что при уменьшении давления газа в коллекторе существенным образом меняются параметры технологического объекта управления, которые при постоянстве настроек регулятора приводят к потере устойчивости системы управления.

Для повышения качества переходных и статических режимов предложено ввести в состав системы управления временной квантователь, наличие которого из-за существенного уменьшения числа включений исполнительного механизма позволит многократно увеличить его ресурс и уменьшить энергопотребление. Для повышения эффективности и устойчивости системы управления предлагается использовать в контуре управления адаптивный ПИД регулятор. Это обеспечивает эффективность работы системы на всех режимах стабилизации давления в коллекторе скважины.

Результаты адаптивного управления одной скважиной достаточно просто переносятся на адаптивное управление кустом газодобывающих скважин.

Оптимальная адаптивная система автоматического управления кустом газодобывающих скважин предназначена для решения задачи стабилизации с требуемой высокой точностью давления выходного газа куста в условиях изменяющегося расхода газа куста и изменяющихся параметров самих газодобывающих скважин, обеспечивая при этом максимально высокий ресурс технических средств элементов автоматики.

Необходимость оптимизации работы систем автоматического управления кустом газодобывающих скважин возникает в следующих трех случаях. Во-первых, когда в заранее заданных диапазонах меняется расход газа, отбираемого от куста; во-вторых, когда также в заранее заданных диапазонах в процессе отбора газа меняется производительность (дебет) каждой из газодобывающих скважин, входящих в состав куста; в-третьих, когда механические исполнительные органы, которые, как правило, имеют наименьший ресурс в сравнении с ресурсом оборудования газодобывающих скважин и других элементов автоматики, будут работать в режиме минимального числа включений, обеспечивая при этом требуемую высокую точность регулирования, повышение ресурса оборудования и снижение энергопотребления.

Первое и второе из этих требований можно выполнить, применяя адаптивные средства автоматического регулирования, т.к. изменение расходных характеристик скважин и куста в целом связано с изменением в сравнительно больших диапазонах параметров объекта управления (технологического процесса). Третье требование может быть исполнено путём введения в состав этой системы управления специальных устройств, значительно уменьшающих число включений исполнительных органов, что в тяжелых климатических условиях Сибири и Дальнего Востока является гарантом длительной и бесперебойной работы автоматизированных газодобывающих скважин.

Работа выполнена по Программе фундаментальных исследований РАН на 2011 год №24. Проект «Научные основы инновационных энергоресурсосберегающих экологически безопасных технологий оценки и освоения природных и техногенных ресурсов».

ЛИТЕРАТУРА

1. Шубладзе А.М., Гуляев С.В., Шубладзе А.А. и др. Управление инерционными динамическими объектами ПИДмл-регуляторами с автоматической компенсацией люфта // Приборы и системы. 2009. № 12. С. 31 –34.
2. Shubladze A.M., Paschenko F.F., Gulyaev S.V. Adaptive PID controller with identification of parameters//The 4-rd International Conference on Application of Information and Communication Technologies «AICT 20010», Tashkent, Uzbekistan, 12-14 October 2010. P.203 –209.
3. Пащенко Ф.Ф., Дургарян И.С., Белова О.Н. Системы поддержки принятия решений в энергетике//Международная научная конференция «Информационные и компьютерные технологии, моделирование, управление». Тбилиси, 2010. С. 145 –147.
4. Пащенко Ф.Ф., Кудинов Ю.И., Кудинов И.Ю. Идентификация нечётких моделей сложных производственных систем. М.: Автоматизация в промышленности. 2010. № 2. С. 25 –28.
5. Пащенко Ф.Ф., Белова О.Н., Дургарян И.С., Голяк И.В. Выбор модели и использование знаний в задаче идентификации. М.: МАСИ, 2010. Т. 12, Ч. 1, С. 35 –41.
6. Голяк И.В., Пащенко Ф.Ф. Рекуррентный фильтр Калмана в задачах факторного анализа. М.: Сб.тр. РГСУ; вып. 20, 2010. № 20. С. 10 –14.
7. Пащенко Ф.Ф., Кудинов Ю.И., Келина А.Ю., Кузнецов Ю.В. Определение настроек нечёткого регулятора: Сб. докл. Всерос. науч. конф. «Фундаментальные и прикладные вопросы механики и процессов управления». Владивосток, 2011. С. 435 –440.
8. Пащенко Ф.Ф., Шубладзе А.М., Гуляев С.В., Кузнецов С.И. Оптимальная адаптивная система автоматического регулирования газодобывающими скважинами// Там же. С.533 – 539.
9. Kudinov Y.I., Kudinov I.Y., Pashchenko F.F. Identification of Multivariable Fuzzy Systems// Proceedings of the 2011 Chinese Control and Decision Conference (CCDC), 23–25 May 2011, Mianzhou Hotel, Mianyang, China, P. 1572 –1575.
10. Голяк И.В., Пащенко А.Ф. Состоятельные методы структурной идентификации нелинейных систем и их реализация// Proceedings of the conference “Computer Science and Information Nechnologies (CSIT)”, September 2011. Yerevan, Armenia. P. 343 –348.

11. *Пащенко Ф.Ф., Шубладзе А.М., Якубсон К.И.* Адаптивное управление кустом газовых скважин при заданном уровне давления газа в коллекторе//Международный экономический форум «Каспийский Диалог, 2011». М.: 2011.

Руководитель проекта Пащенко Ф.Ф.

Ф.Ф. Пащенко