ЛИТЕРАТУРА

1. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле: учебник - 10-е изд. / Л.А. Бессонов - М. : Гардарики, 2003. - 317 с. - ISBN: 5-8297-0158-8
2. Теоретические основы электротехники : учебник для вузов в 3-х т. Т.3 Теория электромагнитного поля / под общ. ред. К.М. Поливанова - М. : Энергия, 1975. - 352 с.
3. Фальковский, О.И. Техническая электродинамика : учебник для вузов связи / О.И. Фальковский - М. : Связь, 1978. - 432 с.
4. [Электронный ресурс]. – режим доступа : http://www.pdesolutions.com

к.т.н., доцент ***Лепетаев А.Н.*** *- lan@ omgtu.ru, н.с.* ***Клыпин Д.Н.****, - кафедра радиотехнических устройств и систем диагностики Омского государственного технического университета, 8-(3812) 60-76-44, 644050, г. Омск, Мира 11*

УДК 004.9

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНЫХ ОПЕРАТОРОВ УПРАВЛЕНИЯ: МЕТОД ДВУХ МОДЕЛЕЙ

А.В. Максимов

Рассмотрена задача синтеза информационного и управляющего оператора в случае, когда свойства объекта управления точно не известны. Исследуется метод синтеза информационного и управляющего операторов с использованием двух моделей. Первая модель служит средством настройки параметров оператора управления и оценки его эффективности. Вторая, рабочая, – является упрощением задачи синтеза управляемой системы и используется в процессе ее функционирования.

Ключевые слова: управляемая система, информационный оператор, оператор управление, задача синтеза системы управления, математическая модель, метод двух моделей, идеальный оператор, идеальная модель

Представим структуру управляющей системы [1] в виде схемы на рисунке 1, где x_S, d, y – переменная внешней среды, информационный вектор и вектор выходов объекта, соответственно; $y = F(\cdot)$, $y \in Y(x_S, v)$, – оператор объекта; $v = \tilde{v}(\cdot)$, $v \in V$, – управляющий оператор; $d = \tilde{d}(\cdot)$, $d \in D$, – информационный оператор.

Определим системную цель управления:

$$\varphi(x_S, v, y) \to \max, \tag{1}$$

и рассмотрим соответствующую (1) задачу синтеза информационного и управляющего оператора в случае, когда свойства объекта управления точно не известны. Считаем, что оператор управления $\tilde{v}(d)$ и информационный оператор $\tilde{d}(x_S)$ заданы, при этом $d = x_S$. Требуется оценить эффективность управления, как значение целевого показателя $\underline{W}(\cdot)$ в задаче (1):

$$\underline{W}(\tilde{d}, \tilde{v}) = \mathrm{M}_{\mathrm{x_S}}[\min_{y \in Y(x_S, \tilde{v})} \phi(x_S, \tilde{v}, \mathrm{y})]. \tag{2}$$

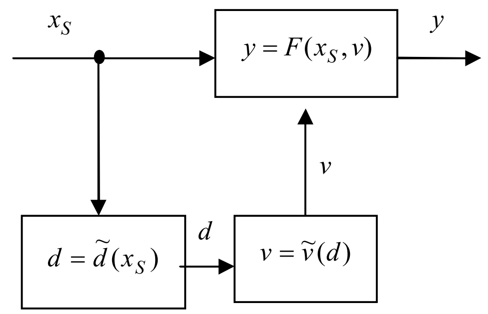

Рисунок 1- Структурная схема управляемой системы

В данном случае в целях упрощения записи используется простой проекционный оператор $\tilde{d}$ и операция $\mathrm{M}_{\mathrm{x_S}}[\cdot]$ вычисления математического ожидания по случайному вектору x_s. Оценки эффективности управляемой системы, аналогичные (2), справедливы и в общем случае управляемых систем, в том числе, для систем с памятью по входу, когда информационный оператор зависит от прошлых значений x_S.

Наряду с (2) можно записать оптимистическую оценку эффективности управления в виде

$$\overline{W}(\tilde{d},\tilde{v}) = \mathrm{M}_{x_S}[\max_{y\in Y(x_S,\tilde{v})} \phi(x_S,\tilde{v},y)]. \quad (3)$$

Интервал оценок $[\underline{W}(\widetilde{d},\widetilde{v}), \overline{W}(\widetilde{d},\widetilde{v})]$ характеризует возможное повышение эффективности управления за счет сбора дополнительной информации и уточнения описания объекта управления. Заметим, что в условиях определенности свойств объекта оценки $\underline{W}$ и $\overline{W}$ совпадают. Кроме того, если оптимистическая оценка не удовлетворяет требованиям потребителя, то неработоспособным в управляемой системе является оператор управления $\widetilde{v}$.

Рассмотрим этап синтеза оператора управления и соответствующие информационные задачи. В данном случае в силу объективной оценки эффективности управляемой системы способы получения операторов $\widetilde{d}$ и $\widetilde{v}$ не играют принципиальной роли. Поэтому методы синтеза должны быть направлены на быстрый и простой способ получения эффективных операторов. Можно выбрать методы адаптивного управления, когда уточнение операторов $\widetilde{d}$ и $\widetilde{v}$ проводится в реальном времени на основе обучающей выборки $\{x_s^i; y^i\}_{i=1}^N$, i, $i = 1, 2, ..., N$, – соответственно, номер наблюдения; N – количество наблюдений, до этапа реального управления.

На практике часто применяется идентификационный подход, при котором используется модель управления, выполняющая информационные функции. Эту («вторую») модель стараются построить и по структуре, и по параметрам соответствующей (2) («первой» модели управления): выбирают целевую функцию $\varphi_m(x_S, v, \beta)$; описание объекта $y = F_m(x_S, v, y)$ структурно соответствующее объекту с точностью до параметров $\beta \in R_m^K$; информационный оператор $\widetilde{d}_m$, совпадающий с $\widetilde{d}$ ($\widetilde{d}_m \equiv x_s$).

Тогда вторая модель управления для поиска $\widetilde{v}^*(x_S)$ примет вид:

$$\widetilde{v}^*(\beta, x_S) = \arg\max_{v\in V(x_S)}\{\varphi_m(x_S, v, y)\},$$

$$y = F_m(x_S, v, \beta). \quad (4)$$

Найдем оценку эффективности управления, аналогичную (2):

$$\underline{W}(\beta) = \mathrm{M}_{x_S}[\min\{\varphi(x_s, \widetilde{v}(\beta, x_S), y) / y \in$$
$$\in Y(x_S, \widetilde{v}^*)]. \quad (5)$$

Наилучшее значение β^* для параметра β можно найти из следующего выражения:

$$\underline{W}(\beta^*) = \max\left\{\underline{W}(\beta) / \beta \in R^K\right\}. \quad (6)$$

Сравнение приведенных выражений для обработки данных при поиске оператора $\widetilde{v}^*(\beta^*, x_S)$ с результатами работы [1] показывает, что исследуемый метод двух моделей имеет непосредственное отношение к синтезу многопользовательских информационных систем. Однако он играет и самостоятельную роль в теории управления. С его помощью легко показать, что эвристические решения при формировании второй модели получают свободу выбора. При этом структурного и параметрического соответствия второй модели управления с оригиналом в данном случае не требуется.

Введем в рассмотрение оператор управления $\widetilde{v}_n$ – решение задачи управления, полученной из (2):

$$\widetilde{v}_n(x_S) = \arg\max_{v\in V(x_S)} \min_{y\in Y(v,x_S)} [\varphi(x_S, v, y)], \quad (7)$$

и рассмотрим некоторые свойства второй модели управления, записанной выражениями (4)–(6).

Опишем кратко схему и задачи исследования. В исследовании существенную роль играет первая модель управления. Информационный оператор $\widetilde{d}$ считаем заданным, и задачу его формального синтеза мы не рассматриваем. Вторая модель – основное средство синтеза оператора управления $\widetilde{v}$ из множества реализуемых операторов $\widetilde{V}$. При решении задачи синтеза оператора управления необходимо изучить возможности построения работоспособных операторов $\widetilde{v}$.

Рассмотрим прямое решение задачи управления (2) с использованием методов декомпозиции. Пусть $\widetilde{V}$ – множество достижимых операторов управления, полученые из модели (4)–(6) при всех значениях $\beta \in R^n$. Имеет место следующий результат декомпозиции задачи (2).

Теорема 1 (о декомпозиции задачи синтеза управления).

Задача (2) эквивалентна следующей системе задач.

Задача центра:

$$\widetilde{v}_o(\widetilde{d}) = \arg\max_{\widetilde{v}\in\widetilde{V}} \mathrm{M}_{x_S}\left[\min_{y\in Y(x_s,\widetilde{v})}[\varphi(x_S, \widetilde{v}, y)]\right] \quad (8)$$

Задача блока:

$$\delta = \min_{\beta \in \mathrm{R}^n} \mathrm{M}[\|\tilde{v}(d) - \tilde{v}^*(\beta, x_S)\|] =$$

$$= \mathrm{M}_{x_S}[\|\tilde{v}(d) - \tilde{v}^*(\beta^*, x_S)\|] = 0 . (9)$$

Доказательство. Воспользуемся результатами доказательства декомпозиции задачи $f^* = \max\{\varphi(\tilde{z}(x)) / x \in X\}$ в работе [2] на две взаимосвязанные задачи: $f^* = \max\{\varphi(z) / z \in Z\}$ и $x^* \in \arg\min\|z^* - \tilde{z}(x)\| = 0$, где Z – множество значений функции: $\tilde{z} : X \to Z$, $z*$ – решение первой задачи. В нашем случае декомпозиции задачи (2), функция $\tilde{z}(x)$ аналогична оператору $\tilde{v}$; Z – множество операторов $\tilde{V}$; а задача (9) аналогична поиску оптимального значения x^*. Таким образом, техника доказательства теоремы о декомпозиции работы [2] допускает ее обобщение на поиск оптимальных операторов. Теорема доказана.

Управленческий смысл системы задач (8), (9) состоит в следующем. Пусть нам удалось показать, что в задаче управления (2) некоторый оператор управления $\tilde{v}_o(d)$ является работоспособным. Тогда при заданной целевой функции и параметризованной модели объекта управления из выражений (4)–(6) и (9) получаем $\beta*$ – оптимальное решение задачи идентификации объекта управления, т.е. осуществляется поиск оптимальной модели $y = F(x_s, v, \beta*)$.

При этом, если $\tilde{v}_o^*(d)$ принадлежит множеству $\tilde{V}$, то из второй модели найдется оператор $\tilde{v}^*(\beta^*, x_s)$ такой, что выполняется равенство

$$\tilde{v}_o(d(x_s)) = \tilde{v}^*(\beta^*, x_s) \ \ \forall x_s \in X_s . \quad (10)$$

Эти свойства задачи синтеза оператора управления вытекают из следующего утверждения.

Теорема 2. Пусть при идентификации функции $y = F_m(x_s, v, \beta)$ существует $\beta^o \in R^n$, для которого имеет место равенство

$$\tilde{v}^*(\beta^o, x_s) = \tilde{v}_n(x_s) \ \ \forall x_s \in X, \quad (11)$$

где $\tilde{v}_n(x_s)$ – решение задачи (7).

Тогда:

1) $\tilde{v}_n(x_s) \in \tilde{V}$;

2) $\beta^* = \beta^o$ – решение задачи (6).

Доказательство. Первое утверждение следует непосредственно из определения множества $\tilde{V}$. Рассмотрим второе утверждение. Необходимо показать, что $\tilde{v}_n(x_s)$ является решением задачи центра (8). Данное утверждение верно, так как (2) является целевой функцией задачи (8). Тогда из (9) следует, что β^o – одно из искомых решений.

Теорема доказана.

Примечание. Данная теорема показывает, что метод двух моделей позволяет, при достаточном разнообразии второй модели, находить «идеальное» управление.

Рассмотрим случай, когда «идеальное» управление $\tilde{v}_n(x_s)$ не принадлежит $\tilde{V}$, т.е. когда модельная целевая функция и описание объекта управления $y = F_m(x_s, v, \beta)$ не имеет необходимое разнообразие. В данном случае задача блока (9) обладает экстремальными свойствами в силу справедливости следующего результата.

Теорема 3 (о приближении «идеального» управления).

Пусть в задаче блока (9) вместо $\tilde{v}_o(d)$ используется «идеальный» оператор $\tilde{v}_n(x_s)$. И пусть $\tilde{v}_n(x_s) \notin \tilde{V}$, а β^* – решение задачи (10).

Тогда

1) $\tilde{v}^*(\beta^*, x_S)$ – проекция $\tilde{v}_n(x_S)$ на множество $\tilde{V}$ – достижимых операторов управления;

2) $\delta = M_{x_S}[\|\tilde{v}_n(x_S) - \tilde{v}^*(\beta^*, x_S)\|]$ – «расстояние» от оператора $\tilde{v}_n(x_S)$ до множества реализуемых операторов $\tilde{V}$.

Доказательство. Воспользуемся определением проекции точки v_n на множество $\tilde{V}$, т.е. следующим выражением (см. [3]):

$$\delta = \min\left\{ \| v_n - v \| / v \in \tilde{V} \right\} = \| v_n - \tilde{v}^* \|,$$

где $\tilde{v}_n^*$ – проекция точки v_n на $\tilde{V}$, а δ – расстояние от точки v_n до множества $\tilde{V}$.

Рассмотрим задачу нахождения β^* (см. (10)) с условием теоремы 1 и ее эквивалентные преобразования:

$$\delta = \min_{\beta \in R^n} M_{x_s} \left[\left\| \tilde{v}_n(x_s) - \tilde{v}^*(\beta, x_s) \right\| \right] = \\ = \min_{\tilde{v}^* \in \tilde{V}} M_{x_s} \left[\left\| \tilde{v}_n(x_s) - \tilde{v}^* \right\| \right] = \\ = M_{x_s} \left[\left\| \tilde{v}_n(x_s) - \tilde{v}^*(\beta^*, x_s) \right\| \right]. \quad (12)$$

Здесь второе равенство справедливо при рассмотрении задачи поиска β^* как композиционно блочной задачи оптимизации [3]. Рассматривая $\delta = M_{x_s} \left[\left\| f(x_s) \right\| \right]$ как норму функции $f(x_S)$ из (12) и, учитывая определение проекции, получаем требуемое доказательство.

Теорема 3 является обобщением и теоретической основой метода синтеза дискретной системы управления, рассмотренного в [4]. Методы приближения и прогнозирования «идеального» оператора следует рассматривать как инженерное использование результата о наилучшем приближении «идеального» управления.

Некоторые практические рекомендации следуют из полученных результатов. Так требование адекватности второй модели управления при решении задачи синтеза не являются необходимым. Напомним в этой связи, что модель $y = F_m(x_S, v, \beta^*)$ является адекватной, если для всех $x_S \in X$ выполнимо включение $F_m(x_s, v, \beta^*) \in Y(x_s, v)$.

Можно привести случаи, когда при синтезе оптимальная модель $F_m(x_s, v, \beta^*)$ может не принадлежать множеству $Y(x_s, v)$, даже если при других значениях β условие адекватности модели выполняется. В данном случае первичным (главным) показателем является работоспособность модели. Обсуждаемое искажение информации возникает, например, в случаях, когда «идеальное» управление не является реализуемым и мы хотим выбором подходящей второй модели частично компенсировать этот недостаток управляемой системы.

Следующая рекомендация касается использования при идентификации моделей управления точностного критерия. В общем случае точностные критерии не дают решения задачи блока (9). Однако возможны исключения. Пусть целевая функция φ управления не зависит непосредственно от управления $v\,(\phi = \phi(x_S, y))$, а первая модель (для простоты изложения) содержит лишь один элемент $y = \tilde{y}_n(x_s, v)$. Тогда справедлив следующий результат.

Теорема 4. В записанных выше предположениях задача (8) в теореме 1 декомпозируется на следующую систему задач:

– задача 1:

$$\tilde{y}_o(x_S) = \arg\max \left\{ \mathrm{M}_{x_s} \left[\phi(x_S, y) / y \in \tilde{Y} \right] \right\}; \quad (13)$$

– задача 2:

$$\Delta = \min_{\tilde{v} \in \tilde{V}} \{ \mathrm{M}_{x_S} [\| \, y_o(x_S) - \tilde{y}_n(x_S, \tilde{v}) \, \|] \} = \\ = \mathrm{M}_{x_S} [y_o(x_S) - \tilde{y}_n(x_S, \tilde{v}^*)]. \quad (14)$$

Здесь $\tilde{Y}$ – множество функций $y = \tilde{y}_n(x_S, \tilde{v}), \quad x_S \in X$, при всех возможных операторах управления $\tilde{v} \in \tilde{V}$.

Доказательство. В условиях теоремы 4 задача (8) относится к классу композиционно-блочных задач [3] относительно оператора управления $\tilde{v} \in \tilde{V}$. Задача (13) – задача поиска оптимальной системной модели $y = \tilde{y}_o(x_s) = y_n(x_s, \tilde{v}^*)$. Задача (14) – поиск оптимального оператора $\tilde{v}^*$, при котором $\Delta = 0$. После этих связей дальнейшее доказательство совпадает с доказательством теоремы 1.

Теорема доказана.

Поясним управленческое содержание полученного результата. Пусть в нашем распоряжении имеются лишь два оператора управления $\tilde{v}_1$, $\tilde{v}_2$, т.е. $\tilde{V} = \{\tilde{v}_1, \tilde{v}_2\}$. В этом случае мы имеем для управляемой системы две системные модели:

$$y = \tilde{y}_n(x_s, \tilde{v}_1(x_s)) = \tilde{y}_1(x_s);$$

$$y = \tilde{y}_n(x_s, \tilde{v}_2(x_s)) = \tilde{y}_2(x_s).$$

Тогда $\tilde{Y}$ в (13) имеет вид $\tilde{Y} = \{\tilde{y}_1; \tilde{y}_2\}$. Для определенности, пусть решением задачи (13) является функция $\tilde{y}_1$, то есть $y = \tilde{y}_o(x_s) = \tilde{y}_1(x_s)$. Тогда $\tilde{v}_1$ – решение задачи (14).

Таким образом, если целевая функция $\varphi(x_s, y)$ не зависит непосредственно от управления, при решении задач синтеза можно использовать понятие «идеальной» системной модели (в условиях теоремы – это функция $y = \tilde{y}_o(x_s)$). В дальнейшем задачи синтеза можно вести приближаясь к этой «идеальной» модели, подобно тому, как мы приближались к «идеальному» управлению, согласно теореме 3.

Теперь можно указать пример ситуации, когда точностной критерий эквивалентен задаче (9). Пусть $Y(x,\widetilde{v}) = \{\widetilde{y}_n(x_s, v)\}$, и для всех $x_S \in X$ существует такой β^*, что

$$F_m(x_s, v, \beta^*) = \widetilde{y}_n(x_s, v). \quad (15)$$

Кроме того, пусть целевая функция $\varphi(x_S, y)$ не зависит от v и используется при поиске оператора $\widetilde{v}^*(x_s, \beta)$, $\varphi_m(x_s, y, v) = = \varphi(x_s, y)$. В данных условиях справедливо следующее утверждение.

Теорема 5. (об оптимальности точностного критерия).

В сформулированных выше условиях задача блока (9) эквивалентна следующей задаче

$$\beta^* = \arg\min_{\beta \in R^n} \{\mathrm{M}_{x_S}[\|y_n(x_S, \widetilde{v}^*) - $$
$$- F_n(x_S, \widetilde{v}(x_S, \beta), \beta)\|]\}. \quad (16)$$

Доказательство. В условиях данной теоремы справедлива теорема 4. Кроме того, решением задачи 1 является функция $y_n(x_s, \widetilde{v})$. Способ поиска β^* из (16) обеспечивает наилучшее приближение данной функции (в условиях теоремы), т.е. ее точное воспроизведение $F_m(x_S, \widetilde{v}^*, \beta^*) = y_n(x^*, v^*)$. Следовательно, β^* является решением задачи (9). Теорема доказана.

Теорема устанавливает достаточные условия оптимальности использования точностных критериев в задачах управления. Кроме полного совпадения первой и второй моделей, в методе двух моделей требуется, чтобы целевая функция не зависела от управления. В противном случае трудно обосновать использование задачи (16) для решения задач идентификации объектов управления.

Следует обратить внимание на несовпадение (16) и задачи (9) с постановками задач идентификации объектов управления с произвольными планами эксперимента, рассмотренной в [1]. Легко увидеть, что план эксперимента $\{x_S^i, v_i^*\}_{i=1}^N$, используемый в задаче (16), может оказаться вырожденным. Этот эффект часто наблюдается при идентификации объектов в процессе адаптивного управления [5, 6, 7].

На практике рекомендуют использование в (16) невырожденных планов, однако метод двух моделей позволяет дать иную рекомендацию. Необходимо упростить вторую модель, обеспечив снижение разнообразия управляемой системы до минимально допустимого уровня. В этом случае идентификацию второй модели необходимо выполнять с использованием модели (9).

Результаты

Подведем некоторые итоги. В данной статье рассмотрены задачи обработки информации при управлении статическими и динамическими объектами в условиях использования двух моделей, одна из которых (первая) выполняет роль настройки рабочей модели. Разработан метод синтеза операторов управления при различных информационных операторах (метод двух моделей). Выполнено исследование задач оптимального синтеза операторов и их декомпозиция. Предложены новые методы синтеза, приближением к «идеальному» оператору и к «идеальной» системной модели. Исследование проведено с использованием методов общей теории систем [8]. Данная работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №10-01-98005 р_сибирь_а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Максимов, А.В. Многопользовательские информационные системы: основы теории и методы исследования: монография / А.В. Максимов, Н.М. Оскорбин. – Барнаул : Изд-во Алт. ун-та, 2005. – 250 с.
2. Оскорбин, Н.М. О схемах блочного программирования / Н.М. Оскорбин // Экономика и математические методы. Вып. 5. 1981.
3. Мамченко, О.П. Иерархические системы управления в экономике / О.П. Мамченко, Н.М. Оскорбин. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2007. – 283 с.
4. Максимов, А.В. Моделирование дискретных систем управления с коррекцией состояния: дис. ... канд. физ.-мат. наук / А.В. Максимов. – Новосибирск, 1993. – 120 с.
5. Деревецкий, Д.П. Прикладная теория дискретных адаптивных систем управления / Д.П. Деревецкий, А.Л. Фрадков. – М.: Наука, 1981. – 216 с.
6. Растригин, Л.А. Современные принципы управления сложными объектами / Л.А. Растригин. – М.: Сов радио. 1980. – 232 с.
7. Рубан, А.И. Метод синтеза закона управления в АСИ / А.И. Рубан, С.А. Маркин // Тезисы докладов IX Всесоюзного совещания по проблемам управления. Ереван – Москва, 1983. – С. 67–68.

8. Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахара. – М.: Мир, 1973. – 344 с.

К.ф.-м.н., доцент ***Максимов А.В.*** *: avmaximov@gmail.com; (3852) 36-70-18 – Алтайский госуниверситет.*

УДК 681.3.042.5: 621.39

СИСТЕМА С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ И КОМБИНИРОВАННЫМ ЗАПРОСОМ

Б.В. Матвеев

На основе программного модуля системы с обратной связью и комбинированным запросом получены основные её характеристики при работе в каналах низкого качества.

Ключевые слова: система, обратная связь, качество, модуль, испытания, ошибка, запрос, информация, канал.

Перспективным направлением использования систем с обратной связью является применение совмещенных систем, использующих наряду с корректирующим кодированием алгоритм комбинированного запроса [1].

Основным преимуществом таких систем перед классическими является возможность передачи сообщений по каналам связи низкого качества. Реализация такой процедуры достигается прежде всего за счет объединения обнаруживающих способностей кодов, построенных на основе полиномов CRC с корректирующими кодами, имеющими определенную структуру. Такими кодами могут быть коды (32, 16) с частично увеличенной исправляющей способностью по ошибкам высокой кратности [2], а также коды Хемминга (8, 4), обеспечивающие исправление двукратных ошибок за счет объединения их возможностей с обнаруживающими свойствами полиномов CRC [3].

Протокол обработки символов может быть основан на классических процедурах систем с РОС [4], либо использовать процедуру систем с временным уплотнением [5], где передатчик поочередно передает блоки из двух буферов по прямому каналу, а по обратному каналу друг за другом следуют комбинации ACK или NACK, принадлежащие решениям по каждому из буферов.

Система с комбинированным запросом

Структура передачи блоков в системе с комбинированным запросом представлена на рисунок 1.

Передатчик посылает на приемную сторону только информационный блок 1 без проверочных элементов 1′. Обнаружение ошибок в блоке 1 осуществляется по обычной процедуре на основе проверочного полинома CRC-16 или CRC-32. В случае отсутствия искажений по обратному каналу посылается подтверждение ACK, после приема которого передающая сторона посылает очередной информационный блок (кадр) 2. Обнаружение ошибки получателем в блоке 2 вызывает передачу отрицательного подтверждения NACK.

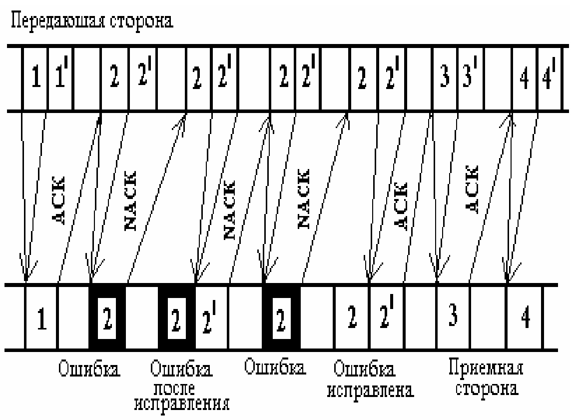

Рисунок 1 - Передача блоков в системе с комбинированным запросом

Передатчик реагирует в этом случае посылкой на приемную сторону проверочных символов кода 2′, длина которых равна числу элементов информационного блока, т.е. избыточность кода равна 1. Ошибки канала связи воздействуют не только на информационный блок, но и на проверочный кадр, вызывая в нем изменения. В результате, например, исправление ошибок корректирующим кодом может оказаться невозможным и после повторной проверки на наличие искажений посылается комбинация NACK. В этом случае на приемную сторону посылаются уже не проверочные элементы, а вновь информационный блок 2. Если при обработке его вновь будут выявлены ошибки, то посылается NACK, тем самым запрашиваются повтор-