

УДК: 519.866

Исследование времени достижения консенсуса в работе технических комитетов по стандартизации на основе регулярных марковских цепей

И. З. Аронов^{1,а}, О. В. Максимова^{2,б}, А. В. Зажигалкин^{3,в}

¹ОАО «ВНИИС», Россия, 123557, г. Москва, Электрический пер., 3/10

²«НИУ ВШЭ», Россия, 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, 20

³Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии,
Россия, 119991, г. Москва, Ленинский проспект, 9

E-mail: ^аaiz@gost.ru, ^бomaksimova@hse.ru, ^вzazhigalkin@gost.ru

Получено 26 января 2015 г.,
после доработки 9 июня 2015 г.

В статье построена математическая модель обеспечения консенсуса в работе технических комитетов по стандартизации (ТК), основанная на модели консенсуса, предложенной ДеГруотом. Проанализированы основные проблемы достижения консенсуса при разработке консенсусных стандартов в условиях предложенной модели. Представлены результаты статистического моделирования, характеризующие зависимость времени достижения консенсуса от числа членов ТК и их авторитарности. Показано, что увеличение числа экспертов ТК и их авторитарности негативно влияет на время достижения консенсуса и увеличивает разобщенность группы.

Ключевые слова: технические комитеты по стандартизации, консенсус, стандарты, регулярные марковские цепи, время достижения консенсуса

Investigation of time to reach consensus on the work of technical committees on standardization based on regular Markov chains

I. Z. Aronov¹, O. V. Maksimova², A. V. Zazhigalkin³

¹OAO «VNIIS», 3/10 Electric lane, Moscow, 123557, Russia

²«HSE», 20 Myasnitskaya st., Moscow, 101000, Russia

³Federal Agency for Technical Regulation and Metrology, 9 Leninsky Avenue, Moscow, 119991, Russia

Abstract. — In this paper construct the mathematical model for consensus in technical committees for standardization (TC), based on the consensus model proposed DeGroot. The basic problems of achieving consensus in the development of consensus standards in terms of the proposed model are discussed. The results of statistical modeling characterizing the dependence of time to reach consensus on the number of members of the TC and their authoritarianism are presented. It has been shown that increasing the number of TC experts and authoritarianism negative impact on the time to reach a consensus and increase fragmentation of the TC.

Keywords: technical standardization committees, consensus, standards, regular Markov chains, time to reach consensus

Citation: *Computer Research and Modeling*, 2015, vol. 7, no. 4, pp. 941–950 (Russian).

Введение и цель исследования

В соответствии с Международным руководством ИСО/МЭК 2:2004 «Стандартизация и смежные виды деятельности. Общий словарь» термин «стандарт» определяется как документ, разработанный на основе консенсуса¹ и утвержденный компетентным органом, в котором устанавливаются для всеобщего и многократного использования правила, общие принципы или характеристики, касающиеся различных видов деятельности, и который направлен на достижение оптимальной степени упорядочения в определенной области. Разработка стандартов осуществляется в рамках соответствующих добровольных объединений заинтересованных организаций, которые (объединения) называются техническими комитетами по стандартизации (ТК). Перечень ТК приведен на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарта) <http://www.gost.ru>.

Стандарт принимается Росстандартом тогда и только тогда, когда в отношении проекта этого документа обеспечен консенсус членов ТК. Здесь под консенсусом согласно Руководству ИСО/МЭК 2 понимается отсутствие принципиальных разногласий у большинства членов ТК применительно к положениям стандарта. Таким образом, обеспечение консенсуса является важнейшей задачей при разработке стандарта.

Принцип принятия решения на основе консенсуса (или коротко консенсус) в настоящее время широко используется в рамках различных диалогов (двусторонних или многосторонних переговоров), в работе международных организаций (например АТЭС), в деятельности движений или партий. Сравнивая консенсус как способ принятия решений с голосованием, можно отметить, что голосование исходно порождает соперничество (а не сотрудничество), не учитывает возможность компромисса, вынуждает меньшинство подчиниться мнению большинства (чего на самом деле не происходит, потому что меньшинство, как правило, остается при своем мнении), нарушает сплоченность общества или группы [Агитон, 2004, Давыдов, 2008]. Способы достижения консенсуса, в основе которого лежит, как правило, возможность и способность членов ТК к компромиссу, в настоящее время практически не исследованы.

В работе [DeGroot, 1974] была продемонстрирована принципиальная возможность описания достижения консенсуса на основе регулярных цепей Маркова [Гантмахер, 2004]. В последнее время эта модель нашла применение в разных приложениях, например, при управлении в социальных сетях [Губанов, Новиков, Чхартишвили, 2009], управлении автоматами [Чеботарев, Агаев, 2013], переговорном процессе [Мазалов, Токарева, 2012].

Однако модели переговоров выводят исследователя, в конце концов, на инструментарий теории игр [Мазалов, Токарева, 2012], поскольку участники переговоров преследуют собственные (зачастую антагонистические) цели. Дизайн же ТК наиболее близок к социальным сетям, где участники, как правило, объединены общими интересами и задачами, где выстраиваются отношения доверия различного уровня. Вместе с тем, сравнивая модель ТК с социальной сетью, отметим и принципиально важные отличия — устойчивость структуры ТК; отсутствие внешнего целенаправленного воздействия на членов ТК, поэтому многие вопросы информационного управления в сети, решаемые также в рамках теории игр [Губанов, Новиков, Чхартишвили, 2009], теряют свое значение в настоящем исследовании.

В то же время работа ТК оценивается с точки зрения времени достижения консенсуса [Аронов, Зажигалкин, Максимова, 2015], поэтому на практике так важен вопрос оценки скорости сходимости мнений экспертов в зависимости от различных параметров, который до настоящего времени глубоко не проанализирован. Цель статьи — исследовать влияние таких факторов, как число членов ТК и авторитарность на время достижения консенсуса, используя аппарат регулярных марковских цепей, который наиболее адекватно описывает процесс достижения консенсуса.

¹ **Консенсус** (лат. *consensus* — согласие) — способ принятия решений при отсутствии принципиальных возражений у большинства заинтересованных лиц, принятие решения на основе общего согласия без проведения голосования, если против него не выступает никто, либо при исключении мнения немногих несогласных участников.

Модель обеспечения консенсуса на основе регулярных цепей Маркова

Обозначим через n число членов ТК, участвующих в обсуждении; пусть $S(0) = (s_0^1, \dots, s_0^n)$ — вектор начальных мнений членов ТК, где s_0^i — мнение i -го эксперта. Члены ТК (эксперты) обмениваются между собой мнениями относительно значений вектора S в рамках заседания ТК. При этом мнение каждого из экспертов может меняться в зависимости от степени (уровня) доверия этого эксперта к мнению другого члена ТК, а также от степени уверенности (доверия) эксперта к своему мнению.

Вероятность доверия i -го эксперта к мнению j -го эксперта задается числом $0 < p_{ij} < 1$ ($i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n$). При этом предполагается, что i -й эксперт доверяет и себе с определенной вероятностью $0 < p_{ii} < 1$. Тем самым формируется квадратная матрица доверия $\mathbf{P}_{n \times n} = (p_{ij})$, которая задает последовательный процесс согласования мнений членов ТК. Сумма вероятностей p_{ij} в каждой строке матрицы равна 1, т. е. для любого $i \in \overline{1, n}$ выполняется $\sum_{j=1}^n p_{ij} = 1$ (условие регулярности матрицы).

На первом шаге согласования мнений экспертов вектор мнений членов ТК вычисляется по формуле

$$\mathbf{S}(1) = \mathbf{S}(0) \cdot \mathbf{P}_{n \times n} = (s_0^1, \dots, s_0^n).$$

После k -го шага согласований вектор мнений вычисляется по формуле

$$\mathbf{S}(k) = (s_k^1, \dots, s_k^n) = \mathbf{S}(k-1) \cdot \mathbf{P}_{n \times n} = \mathbf{S}(0) \cdot \mathbf{P}_{n \times n}^k. \quad (1)$$

Итерационный процесс прекращается на m -м шаге, если все строки матрицы $\mathbf{P}_{n \times n}^m$ становятся одинаковыми. Математически это означает, что матрица доверия $\mathbf{P}_{n \times n}$ после m итераций достигла финальной матрицы \mathbf{F} , и поскольку финальная матрица \mathbf{F} при последующих итерациях уже не изменяется, то, соответственно, уже не изменится вектор мнений экспертов $\mathbf{S}(m) = \mathbf{S}(0) \cdot \mathbf{P}_{n \times n}^m = (s_m^1, \dots, s_m^n)$. Это согласуется с известным положением теории групповой динамики, описывающей процессы, происходящие в социальных группах [Рогов, 2005]: «...в конце концов группа находит точки соприкосновения, соединяя все полезные идеи воедино».

Прежде всего, рассмотрим пример. Пусть ТК состоит из пяти членов. Примем, что матрица доверия \mathbf{P} для этих пяти членов ТК имеет вид

$$\mathbf{P}_{5 \times 5} = \begin{pmatrix} 0,0 & 0,6 & 0,0 & 0,3 & 0,1 \\ 0,0 & 0,8 & 0,1 & 0,0 & 0,1 \\ 0,0 & 0,0 & 0,0 & 0,0 & 1,0 \\ 0,0 & 0,0 & 0,1 & 0,0 & 0,9 \\ 0,0 & 0,0 & 0,0 & 0,1 & 0,9 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

В этой матрице по строкам ($i = 1, \dots, 5$) задана вероятность доверия эксперта к своему мнению и мнению других экспертов, а по столбцам ($j = 1, \dots, 5$) — вероятность доверия иных членов ТК к мнению эксперта, а также вероятность доверия эксперта p_{ii} к своему мнению. Другими словами, эксперт под номером 1 (строка 1) не доверяет своему мнению ($p_{11} = 0$) и мнению эксперта 3 ($p_{13} = 0$), доверяет мнению эксперта 2 с уровнем доверия 0,6 ($p_{12} = 0,6$), доверяет мнению эксперта 4 с уровнем доверия 0,3 ($p_{14} = 0,3$) и эксперту 5 с уровнем доверия 0,1 ($p_{15} = 0,1$). Аналогичным образом сформированы остальные строки матрицы.

Рассмотрим столбцы матрицы. Первый столбец отражает ситуацию полного недоверия остальных экспертов к мнению эксперта 1; мнению эксперта 2 доверяет эксперт 1 с вероятностью доверия 0,6, а также сам себе с вероятностью доверия 0,8 и т. д.

После некоторого числа итераций m , т. е. после m согласований, финальная матрица \mathbf{F} , обеспечивающая консенсус, равна

$$\mathbf{F} = \mathbf{P}_{5 \times 5}^m = \begin{pmatrix} 0,0 & 0,0 & 0,0 & 0,1 & 0,9 \\ 0,0 & 0,0 & 0,0 & 0,1 & 0,9 \\ 0,0 & 0,0 & 0,0 & 0,1 & 0,9 \\ 0,0 & 0,0 & 0,0 & 0,1 & 0,9 \\ 0,0 & 0,0 & 0,0 & 0,1 & 0,9 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Как вытекает из теории марковских цепей [Гантмахер, 2004], необходимым и достаточным условием сходимости начальной матрицы \mathbf{P} к финальной матрице \mathbf{F} (необходимым и достаточным условием достижения консенсуса) при любом векторе исходных мнений является регулярность² матрицы \mathbf{P} . Другими словами, необходимо и достаточно, чтобы суммы по строкам матрицы \mathbf{P} были равны 1 и при этом для каких-либо вероятностей p_{ij} выполнялось строгое неравенство $0 < p_{ij} < 1$. В терминах деятельности ТК важно, чтобы некоторые его члены обладали собственным мнением и относились с доверием к мнению отдельных коллег.

Таким образом, каковы бы ни были начальные мнения членов ТК, если матрица \mathbf{P} регулярна (т. е. имеются не амбициозные эксперты с выраженным мнением), то консенсус достижим, хотя, может быть, и за значительное число итераций (обсуждений в рамках ТК). Это вытекает из свойства сходимости регулярной марковской матрицы \mathbf{P} к финальной матрице \mathbf{F} .

Следовательно, управление (как со стороны национального органа по стандартизации, так и со стороны руководителя ТК) для обеспечения консенсуса в рамках рассматриваемой модели заключается в том, чтобы определенным образом устранить ситуации, при которых консенсус принципиально недостижим, или для его достижения требуются значительные временные затраты.

Анализ модели обеспечения консенсуса в работе ТК

1. Доминирование. Если в группе имеется эксперт с высокой самооценкой (без ограничения общности можно считать, что это $p_{11} = 1$), то его мнение в результате согласований (итераций) не изменяется, так как в финальной матрице \mathbf{F} именно элемент p_{11} не трансформируется и остается равным единице. Этот вывод также понятен: доминантного эксперта сложно переубедить. Таким образом, наличие амбициозного члена в ТК должно пресекаться, так как мнение именно этого эксперта будет доминировать. По этой причине, например, представители органов власти в ТК должны входить только как рядовые члены комитетов. Более того, наличие доминантного эксперта в ТК может надолго затян timer принятия консенсуса. Рассмотрим простой пример.

Пусть исходная матрица доверия \mathbf{P}_1 имеет вид

$$\mathbf{P}_1 = \begin{pmatrix} 1,0 & 0,0 & 0,0 & 0,0 \\ 0,1 & 0,4 & 0,3 & 0,2 \\ 0,3 & 0,2 & 0,5 & 0,0 \\ 0,1 & 0,2 & 0,1 & 0,6 \end{pmatrix}.$$

В этом случае только после пятнадцати итераций ($m = 15$) обеспечивается сходимость этой матрицы к финальной, т. е. консенсус.

² Матрицы, суммы элементов всех строк которых равны единице, называются стохастическими. Если при некотором n все элементы матрицы \mathbf{P}^n не равны нулю, то такая матрица переходов называется регулярной.

В то же время, если сменить амбициозного лидера на «нормального» эксперта, что приведет, например, к смене матрицы \mathbf{P}_1 на \mathbf{P}_2 вида

$$\mathbf{P}_2 = \begin{pmatrix} 0,6 & 0,2 & 0,1 & 0,1 \\ 0,1 & 0,4 & 0,3 & 0,2 \\ 0,3 & 0,2 & 0,5 & 0,0 \\ 0,1 & 0,2 & 0,1 & 0,6 \end{pmatrix},$$

то консенсус может быть достигнут за девять итераций.

2. Наличие нескольких лидеров. Ситуация, когда в ТК имеются несколько лидеров, характеризуется матрицей \mathbf{P} , в которой на главной диагонали матрицы расположены единицы. Например, для случая двух лидеров матрица \mathbf{P} имеет вид

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & \dots & p_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1} & p_{n2} & p_{n3} & \dots & p_{nn} \end{pmatrix}.$$

Матрицы подобного вида и соответствующие им марковские цепи называются разложимыми [Гантмахер, 2004]³. Так как произведение (и, соответственно, степень) разложимых матриц является разложимой матрицей, то очевидно, что в этой ситуации консенсус не достижим никогда (для любого $n > 2$).

В литературе по групповой динамике даются аналогичные выводы: «работу группы часто парализуют личности или фракции, которые придерживаются строго противоположных позиций» [Рогов, 2005].

Наличие нескольких лидеров в ТК принципиально отличает эту ситуацию от предыдущей. Дело в том, что наличие одного лидера в группе обеспечивает консенсус, правда, может быть невысокого качества в смысле количества проводимых согласований, тогда как присутствие в ТК нескольких лидеров приводит к принципиальной невозможности консенсуса. В этой ситуации задача руководителя ТК состоит в том, чтобы при формировании ТК исключить наличие нескольких амбициозных лидеров, которые парализуют работу ТК.

3. Глобальное доминирование. Если в ТК все эксперты обладают высокой самооценкой (т. е. можно положить, что для всех i значение $p_{ii} = 1$), то матрица доверия \mathbf{P} в этом случае становится единичной. Так как для любого числа m итераций (обсуждений в ТК) $\mathbf{P}^m = \mathbf{E}^m = \mathbf{E}$, то, значит, матрица \mathbf{P} не сходится к финальной и, следовательно, консенсус в этом случае принципиально недостижим.

Этот вывод подтверждается большим числом наблюдений за работой различных групп: чем больше в ТК амбициозных членов, тем сложнее обеспечить консенсус в группе. Например, в работе [Рогов, 2005] отмечается, что «сильнее всего продуктивную работу нарушает присутствие неформальных лидеров, которые тянут одеяло на себя», поэтому доминирование должно пресекаться руководителем ТК, так как оно исключает консенсус.

4. Перенос ответственности. Рассмотрим ситуацию, в которой каждый эксперт снимает с себя ответственность за принятие решения, полностью перекладывая ответственность на дру-

³ Матрица A называется разложимой, если перестановкой рядов она может быть приведена к виду $\tilde{A} = \begin{pmatrix} B & 0 \\ C & D \end{pmatrix}$, где B и D — квадратные матрицы.

гого члена ТК. Такое поведение является конформным, при котором эксперты присоединяются к мнению группы, считая его правильным, а свою оценку — ошибочной.

Этому случаю соответствует матрица \mathbf{P} следующего вида:

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Легко видеть, что матрица \mathbf{P} иллюстрирует ситуацию, когда эксперт под номером 1 полностью доверяет эксперту 2, второй доверяет эксперту 3 и т. д., последний (по номеру) член ТК доверяет эксперту 1. В теории марковских цепей показано, что переходная матрица такого вида не сходится к финальной матрице [Гантмахер, 2004]. Следовательно, для такой группы консенсус не достижим. На самом деле, достаточно в группе иметь хотя бы двух «безответственных» экспертов, чтобы достижение консенсуса стало невозможным.

Может показаться странным, что эксперты снимают с себя ответственность за принятие решений и передоверяют решение другому члену ТК. Однако анализ групповой динамики показывает, что это распространенное явление, так как «групповая деятельность ... дает возможность «спрятаться за чужие спины», переложить ответственность... Выделяется своеобразный тип людей, которых можно назвать безбилетниками» [www.pro-psichology.ru/socialno-psichologicheskie-fenomeny/145-dinamicheskie-processy-v-gruppe.html].

5. Коалиции. Еще один случай невозможности достижения консенсуса — это формирование коалиций в ТК. Проиллюстрируем ее примером работы ТК из четырех членов, которые сформировали две коалиции: эксперт 1 доверяет только себе и эксперту 2, эксперт 2 доверяет себе и эксперту 1, соответственно эксперт 3 доверяет только себе и эксперту 4, член 4 в ТК доверяет себе и эксперту 3.

Одна из возможных начальных матриц доверия \mathbf{P} может иметь следующий вид:

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} 0,7 & 0,3 & 0,0 & 0,0 \\ 0,4 & 0,6 & 0,0 & 0,0 \\ 0,0 & 0,0 & 0,5 & 0,5 \\ 0,0 & 0,0 & 0,5 & 0,5 \end{pmatrix}.$$

Непосредственной проверкой (т. е. умножением этой матрицы на себя) можно убедиться, что меняются только ненулевые значения элементов матрицы. Это значит, что коалиции в группе устойчивы и консенсус в группе недостижим.

Как отмечено выше, матрицы подобного вида и соответствующие им марковские цепи являются разложимыми, поэтому в этой ситуации консенсус не может быть достигнут (для любого $n > 2$).

В литературе по групповой динамике даются аналогичные выводы [Рогов, 2005]: «нередко в состав общей группы входят более мелкие образования, между которыми существуют разного рода коалиции и альянсы. Это осложняет процесс выработки консенсуса». Задача руководителя ТК — устранить сложившиеся коалиции в ТК за счет выбора компромиссных решений.

6. Число обсуждений в ТК. С практической точки зрения важно оценить время сходимости матрицы мнений \mathbf{P} к финальной матрице $\mathbf{F} = \mathbf{P}^m$. Это время определяется необходимым числом m итераций (обсуждений в рамках ТК) для формирования консенсуса. Величину m можно оценить из следующих соображений: определитель матрицы \mathbf{F} равен нулю, если все строки этой матрицы равны между собой; верно и обратное в условиях начальных предполо-

жений, что сумма всех вероятностей доверия в каждой строке равна 1. Таким образом, если задать погрешность ε в оценке детерминанта матрицы \mathbf{F} близкую нулю, то после элементарных преобразований получаем оценку числа итераций m [Кирий, 2009]:

$$m > \frac{\ln(\varepsilon)}{\ln(\det \mathbf{P})}, \quad (4)$$

где $\det \mathbf{P}$ — определитель матрицы \mathbf{P} .

Анализ формулы (4) показывает, что чем большая точность нужна в оценке матрицы \mathbf{F} , тем меньше величина ε и, следовательно, тем больше величина m , т. е. требуется большее число итераций (согласований).

Если исходные отношения доверия в ТК близки, это означает, что строки матрицы \mathbf{P} могут быть близки друг другу, соответственно при заданной точности ε число итераций для сходимости \mathbf{P} к \mathbf{F} и обеспечения консенсуса мало.

Детерминант матрицы \mathbf{P} , близкий 1, показывает, что число итераций m (заседаний ТК) очень велико. Это утверждение близко утверждению 2.

На основе формулы (4) можно грубо оценить число итераций, необходимых для обеспечения консенсуса:

- для случая, когда отношения доверия в группе достаточно близки, что означает, что детерминант матрицы \mathbf{P} близок нулю (например, $\det \mathbf{P} = 0,0005$), достаточно двух обсуждений для обеспечения консенсуса (при $\varepsilon = 0,0001$);
- для исходного «среднего» согласования мнений ($\det \mathbf{P} = 0,3$) необходимо не менее восьми обсуждений для обеспечения консенсуса;
- «плохое» исходное согласование мнений ($\det \mathbf{P} = 0,5$ и более) может потребовать более ста итераций, что реализовать на практике нереально.

Оценка влияния числа и авторитарности членов ТК на время достижения консенсуса путем статистического моделирования

Влияние числа n членов ТК на время достижения консенсуса было исследовано путем статистического моделирования. В качестве зависимой переменной принято m — число заседаний технического комитета до достижения консенсуса, при котором выполняется условие

$$\det \mathbf{P}^m < \varepsilon. \quad (5)$$

Фактически величина m характеризует время достижения консенсуса.

Моделирование состояло из нескольких этапов:

На *первом этапе* были выбраны уровни изменения числа n членов ТК:

- 1-й: 5;
- 2-й: 10;
- 3-й: 20;
- 4-й: 30;
- 5-й: 40;
- 6-й: 50.

На *втором этапе* выбиралась вероятность p_{ii} , характеризующая доверие эксперта к себе (назовем его уровнем авторитарности⁴). Для фактора p_{ii} выделены следующие уровни:

- 1-й: 0,20–0,30;
- 2-й: 0,45–0,55;
- 3-й: 0,65–0,75;

⁴ **Авторитарность** [от лат. *autoritas* — влияние, власть] — социально-психологическая характеристика личности, отражающая ее стремление максимально подчинить своему влиянию партнеров по взаимодействию и общению.

4-й: 0,85–0,95;

5-й: 0,90–1,00.

На *третьем этапе* для каждого уровня n проведено моделирование диагональных элементов p_{ii} матрицы \mathbf{P} при помощи равномерного закона распределения; параметрами равномерного закона служили границы соответствующего уровня фактора p_{ii} . В каждой строке матрицы \mathbf{P} промоделированы оставшиеся вероятности p_{ij} ($i \neq j$) по равномерному закону с параметрами 0 и 1 с последующим нормированием их так, чтобы сумма вероятностей в рамках каждой строки равнялась 1, т. е. чтобы матрица \mathbf{P} стала стохастической.

Точность моделирования элементов матрицы составляла 0,01, что обусловлено рассматриваемыми границами числа членов n в ТК. Значения ε в равенстве (5) определялись точностью моделирования элементов матрицы \mathbf{P} и ее размером n и в моделировании составляли

$$\varepsilon = \left(\frac{0,01}{n-1} \right)^n, \quad n \geq 2.$$

Такой вид зависимости ε от числа членов n обусловлен:

- изменением точности $(n-1)$ элемента в каждой строке матрицы в условиях нормировки;
- степенной зависимостью в условиях техники расчета определителя n -го порядка.

Для получения устойчивых выводов в отношении среднего числа m согласований при изменении других параметров на каждом фиксированном уровне факторов n и p_{ii} проводилось 100 моделирований в среде Excel [Эфрон, 1988].

Представляется, что выбранные исходные границы параметров моделирования корректно описывают реальную ситуацию: на практике число членов ТК варьирует от 5 до 100 человек, однако основная масса ТК включает до пятидесяти экспертов.

Одновременно анализировалось влияние авторитарности членов ТК на время достижения консенсуса. Уровень авторитарности $p_{ii} = 1$ характеризует поведение абсолютно авторитарного человека, не склонного к компромиссу, уровень авторитарности $p_{ii} = 0$ характеризует поведение абсолютного конформиста; на практике члены ТК сочетают поведенческие черты обеих групп (авторитаристов и конформистов), что нашло отражение в условиях моделирования $0,2 \leq p_{ii} \leq 1$.

На рис. 1 представлена зависимость числа итераций (согласований) m от числа членов комитета n при различных уровнях авторитарности p_{ii} . Статистически подходящие регрессионные зависимости имеют вид [Тьюки Дж., 1981]

$$\hat{m} = \hat{a} n^{\hat{b}}, \quad (6)$$

где \hat{m} — регрессионное значение числа итераций для достижения консенсуса, n — число членов комитета, \hat{a} , \hat{b} — коэффициенты уравнения.

Наблюдается степенной рост числа согласований с ростом числа членов комитета. Анализ этих моделей (6) подтвердил не только визуальное, но и теоретическое хорошее согласование с модельными данными (для каждой кривой $R^2 \approx 0,97$, рис. 1). Исследование показывает, что с ростом числа членов ТК (при фиксированном уровне авторитарности членов ТК) увеличивается число итераций m для достижения консенсуса (рис. 1). При этом в случае невысокого уровня авторитарности ($p_{ii} < 0,5$) ее влияние уменьшается.

Еще более наглядна зависимость числа итераций m от уровня авторитарности p_{ii} членов ТК (при фиксированном числе членов ТК), она представлена на рис. 2. Графики явно иллюстрируют высокую чувствительность числа согласований m к росту авторитарности, особенно начиная со значения p_{ii} около 0,8.

Обращает на себя внимание еще один особенный факт: с ростом числа членов ТК и увеличением авторитарности его членов в среднем увеличивается разброс (относительно среднего) числа согласований m для обеспечения консенсуса, что свидетельствует о повышении разбренности группы экспертов (рис. 2).

Таким образом, можно констатировать, что увеличение числа членов ТК, так же как и рост их авторитарности, отрицательно сказывается на времени достижения консенсуса и, следовательно,

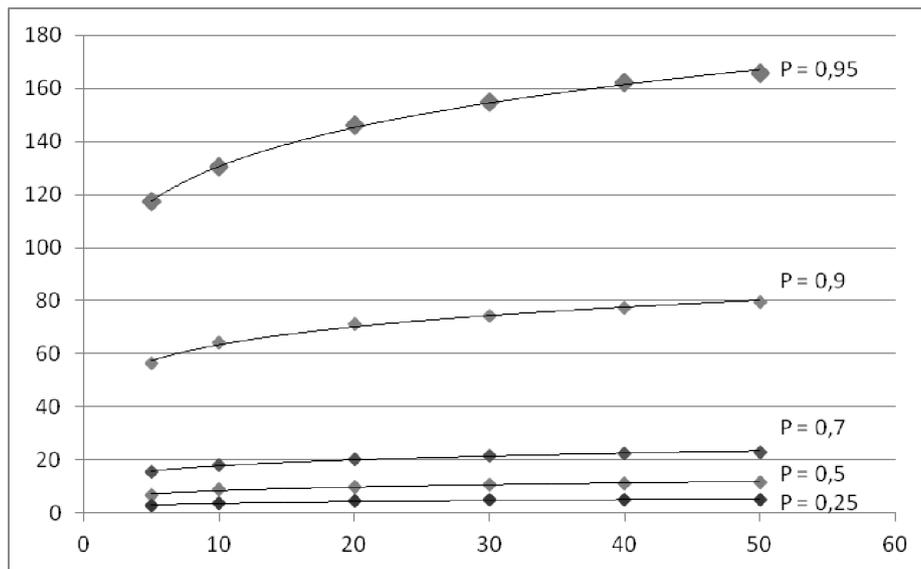


Рис. 1. Зависимость числа согласований m от числа членов n в ТК (рядом с кривыми указаны соответствующие средние значения уровня авторитарности $P = p_{ii}$)

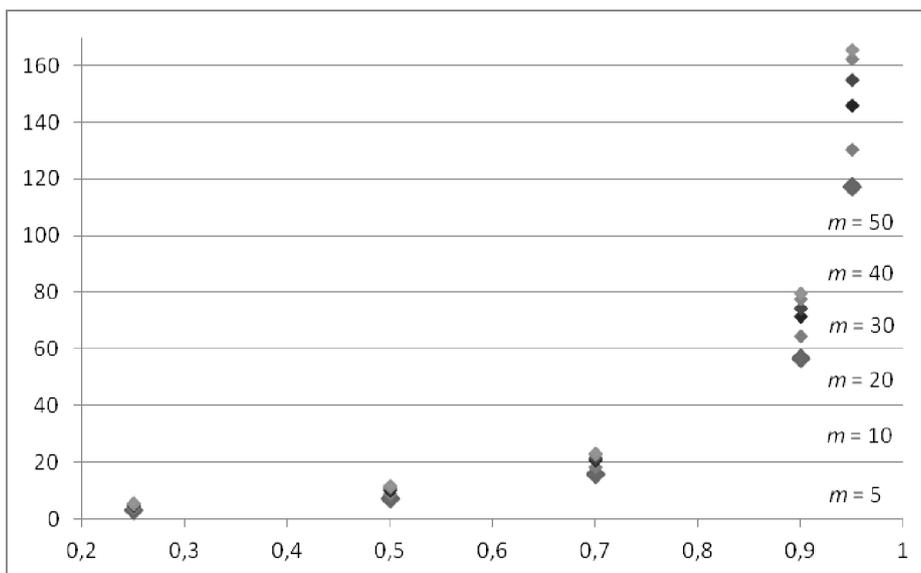


Рис. 2. Зависимость числа согласований m от авторитарности членов при фиксированном числе n членов ТК

на эффективности деятельности ТК. Этот аспект должен быть принят во внимание национальным органом по стандартизации для повышения результативности управления деятельностью технических комитетов. Полученный результат свидетельствует также еще об одном глубинном отличии ТК (как сообщества экспертов) от социальной сети: ценность последней оценивается ростом числа ее членов [Губанов, Новиков, Чхартишвили, 2009], в то время как увеличение числа членов ТК отрицательно сказывается на качестве его деятельности.

Следует отметить, что полученный результат можно распространить на любые организационные структуры, в которых решение принимается на основе консенсуса: рост числа членов в этих структурах и увеличение авторитарности их членов существенно усложняет достижение консенсуса.

В этом смысле настоящая работа дополняет результаты исследования [Peter Klimek, Rudolf Hanel, Stefan Thurner, 2008], в которых показано (с использованием другого подхода), что «для маленьких правительств консенсус достигается всегда — все министры являются ближайшими

соратниками и рано или поздно принимают точку зрения большинства. В более крупных властных органах... чем больше министров, тем меньше вероятность консенсуса».

Заключение

Продемонстрирована работоспособность модели достижения консенсуса в работе технических комитетов по стандартизации (или соответствующих рабочих групп), основанной на регулярных цепях Маркова. Показано, что в рамках достаточно общих предположений можно моделировать основные негативные процессы, препятствующие достижению консенсуса в работе ТК, и, следовательно, управлять этими процессами для повышения эффективности их деятельности. Результаты статистического моделирования процесса консенсуса в ТК свидетельствуют о существенной зависимости времени его достижения от авторитарности экспертов и нецелесообразности беспричинного увеличения их числа, поскольку это негативно сказывается на времени достижения консенсуса. Кроме того, показано, что увеличение авторитарности членов ТК и их числа повышает разобщенность группы экспертов.

Список литературы

- Агитон К.* Альтернативный глобализм. Новые мировые движения протеста. — М. : Гилея, 2004.
- Аронов И., Зажигалкин А., Максимова О.* Анализ времени достижения консенсуса в рамках деятельности ТК // Стандарты и качество. — 2015. — № 6.
- Гантмахер Ф. Р.* Теория матриц. — М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004.
- Губанов Д. А., Новиков Д. А., Чхартишвили А. Г.* Модели репутации и информационного управления в социальных сетях // Математическая теория игр и ее приложения. — 2009. — № 2.
- Кирий В. Г.* Амбивалентные системы. Философия, теория, практика. — Иркутск : Изд-во Иркутского университета, 2009.
- Мазалов В. В., Токарева Ю. С.* Репутация арбитров в моделях проведения переговоров // Труды Карельского научного центра РАН. — 2012. — № 5.
- Рогов Е. И.* Психология группы. — М. : «Владос», 2005.
- Тьюки Дж.* Анализ результатов наблюдений. Разведочный анализ. — М. : Мир, 1981.
- Чеботарев П. Ю., Агаев Р. П.* Об асимптотике в моделях консенсуса // Управление большими системами: сборник трудов. — 2013. — Вып. 43.
- Эфрон Б.* Нетрадиционные методы многомерного статистического анализа: Сб. статей: Пер. с англ. // Предисловие Ю. П. Адлера, Ю. А. Кошевника. — М. : Финансы и статистика, 1988. — 263 с.
- DeGroot M. H.* Reaching a consensus // Journal of the American Statistical Association. — 1974. — Vol. 69, No. 345.
- Klimek P., Hanel R., Thurner S.* To how many politicians should government to be left? // arXiv:0804.2202[physics.soc-ph].