

Информационные технологии, моделирование и управление

Оригинальная статья/Original article

УДК 681.3

DOI: <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-3-51-56>

Вероятностный подход к управлению многостадийными многокритериальными технологическими процессами

Юрий В. Бугаев,¹ y_bugaev52@mail.ru
Юлия А. Сафонова,¹
Артем Ю. Ткачев¹ reddiablo.007@mail.ru

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Реферат. В настоящее время любой производственный процесс рассматривается как основное средство получения прибыли и повышения конкурентоспособности, иными словами, доминирующим становится процессный подход. При таком подходе производство конечного продукта представляется сетью связанных между собой технологических стадий, в ходе которых осуществляется преобразование входных ресурсов в выходную продукцию, при этом стабильный, точно исполняемый, высококачественный технологический процесс наиболее эффективно и с минимальными затратами обеспечивает получение продукции запланированного качества. Примером может служить организация хлебопекарного производства. Для современного периода характерно восстановление классической технологии, позволяющей улучшить вкусовые качества хлеба, усилить его аромат, дольше сохранить свежесть. Хлебопечение является процессом, подлежащим управлению, с целью получения требуемых качественных показателей конечного изделия. Одним из новых и перспективных способов управления качеством технологических процессов является вероятностный метод, позволяющий определять повышение вероятности выпуска качественных изделий в пределах ресурсов, выделенных на мероприятия по улучшению уровня качества. В работе была применена концепция управления качеством на основе вероятностного подхода для многостадийных процессов, которая заключается в том, что в качестве одного из основных критериев принимается вероятность выпуска качественного изделия. Однако очевидно, что реализация тех или иных мероприятий по ее повышению предполагает подключение определенных ресурсов, что, в первую очередь, неизбежно связано с некими денежными затратами. Таким образом, приходим к задаче оптимального управления, имеющей, как минимум, два критерия – вероятность качественного завершения технологического процесса, которую надо максимизировать, и суммарные затраты на проведение корректирующих мероприятий, которые надо минимизировать. Авторами была разработана принципиальная модель оптимального управления для случая, когда одно мероприятие оказывает влияние только на одну стадию. Для оптимизации структуры многостадийного технологического процесса был использован частный случай векторного алгоритма Флойда-Уоршалла. Применение векторной оптимизации на графах позволило авторам получить развернутую картину последствий различных вариантов управления на каждой стадии технологического процесса, которую затем можно будет использовать для технологической подготовки производства либо для оперативного управления функционированием технологического процесса.

Ключевые слова: Wi-Fi сеть, алгоритм бинарного программирования, задача о наименьшем покрытии

A probabilistic approach to the management of multi-stage multicriteria process

Yurii V. Bugaev,¹ y_bugaev52@mail.ru
Yuliya A. Safonova¹
Artem Yu. Tkachev¹ reddiablo.007@mail.ru

¹ Voronezh state university of engineering technologies, Revolution av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Summary. Currently, any production process is viewed as the primary means of profit and competitiveness, in other words, becomes the dominant process approach. In this approach, the final product production appears network of interconnected processing steps during which the conversion of inputs into outputs, with a stable, accurate executable, high process most efficiently and cost-effectively provides a planned quality. An example is the organization of bread production. For the modern period is characterized by the classical recovery technology that allows to improve the palatability of bread, enhance its flavor, longer-lasting freshness. Baking is a process to be controlled in order to obtain the required quality parameters of the final product. One of the new and promising methods of quality management processes is a probabilistic method to determine the increase in the probability of release of quality products within the resources allocated for measures to improve the quality level. The paper was applied a quality management concept is based on a probabilistic approach for the multi-step process, which consists in the fact that as one of the main criteria adopted by the probability of release of high-quality products. However, it is obvious that the implementation of certain measures for its improvement requires the connection of certain resources that, first of all, is inevitably associated with certain cash costs. Thus, we arrive at an optimal control problem, which has at least two criteria - probability qualitative completion of the process, which should be maximized and the total costs of the corrective measures that need to be minimized. The authors of the idealized model of optimal control has been developed for the case when a single event affects only a single step. A special case of vector Uorshall-Floyd algorithm was used to optimize the structure of a multi-step process. The use of vector optimization on graphs allowed the authors to get a detailed picture of consequences of different management options at each stage of the process, which then can be used for technological preparation of production or to control the operation of the operational process

Keywords: multicriteria, process, graph theory, probability method

Для цитирования

Юрий В. Бугаев, Юлия А. Сафонова, Артем Ю. Ткачев Построение минимального доминирующего множества при проектировании Wi-Fi-сети // Вестник ВГУИТ. 2017. № 3. С 51–56. doi:10.20914/2310-1202-2017-3-51-56

For citation

Yurii V. Bugaev, Yuliya A. Safonova, Artem Yu. Tkachev Construction of the minimal dominating set in the design of Wi-Fi-network. *Vestnik VSUET* [Proceedings of VSUET]. 2017. no 3 pp. 51–56 (in Russ.). doi:10.20914/2310-1202-2017-3-51-56

Введение

Производственный процесс – упорядоченная, регулярная последовательность взаимосвязанных технологических процедур, которая превращает исходные ресурсы в конечные продукты. До середины 80-х годов XX века процесс производства представлялся вторичным по отношению к конечному продукту, т.е. на предприятиях существовал продуктовый подход. В настоящее же время любой производственный процесс рассматривается как основное средство получения прибыли и повышения конкурентоспособности, иными словами, доминирующим становится процессный подход.

При процессном подходе производство конечного продукта представляется сетью связанных между собой технологических стадий, в ходе которых осуществляется преобразование входных ресурсов в выходную продукцию, при этом стабильный, точно исполняемый, высококачественный технологический процесс наиболее эффективно и с минимальными затратами обеспечивает получение продукции запланированного качества. Примером может служить организация хлебопекарного производства [1].

Хлебопекарная отрасль пищевой промышленности по праву занимает особое место

в производстве продуктов питания, так как хлеб в России традиционно является основным продуктом питания. А поскольку почти 40 % суточной нормы калорий человек получает от потребления хлеба, то актуальность интенсификации технологических процессов хлебопекарного производства очевидны.

Характерной особенностью современного периода является критический подход к технологии приготовления теста непрерывным способом и восстановление классической технологии, что позволяет улучшить вкусовые качества хлеба, усилить его аромат, дольше сохранить свежесть. Создание продукта является процессом, подлежащим управлению, с целью получения требуемых качественных показателей конечного изделия. Это предполагает установление параметров, характеризующих и определяющих весь ход производства, которые изменяют процесс, приводя его в соответствие с технологическим регламентом. Определение данных параметров достигается в результате декомпозиции процессов, в виде горизонтальных структур, на отдельные взаимосвязанные подпроцессы, каждый из которых является определенным технологическим переделом (рисунок 1).

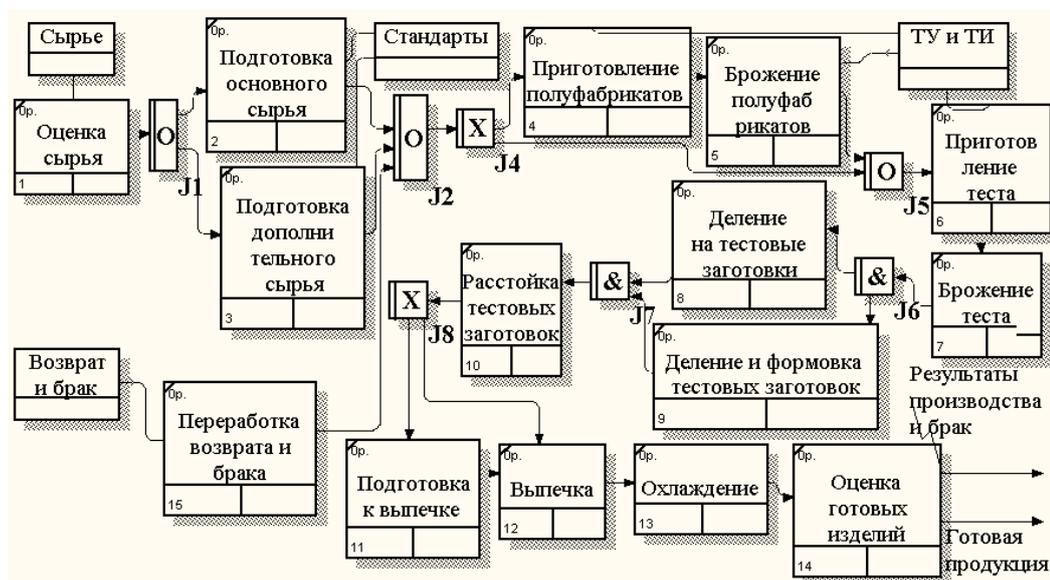


Рисунок 1. IDEF3-диаграмма «Производство изделий»

Figure 1. IDEF3-diagram "Production of goods"

Существует большое число методов управления качеством. К наиболее часто применяемым методам можно отнести структурирование функции качества, анализ последствий и причин отказов, статистические методы, ABC – метод и др. [2]. Одним из новых и перспективных способов управления качеством технологических процессов является вероятностный метод, предложенный в [3] и позволяющий

определять повышение вероятности выпуска качественных изделий в пределах ресурсов, выделенных на мероприятия по улучшению уровня качества.

Каждая из стадий, представленных на рисунке 1, имеет некоторую вероятность качественного завершения. Но, если при неудовлетворительном выполнении операций по подготовке основного и дополнительного сырья,

переработки и возврата брака, оценке готовых изделий, сырье и продукция дальнейшим производственным действиям не подвергается (т.е. идет возврат), то при некачественном выполнении стадий по приготовлению полуфабрикатов, теста, расстойки тестовых заготовок и их выпечке выход не отбраковывается, а подлежит дальнейшей переработке, согласно технологическим инструкциям на данный вид изделия. Поэтому требуется проводить ряд мероприятий с целью улучшения качественного выполнения всех технологических операций.

Наиболее рациональное распределение производственных ресурсов, используемых для проведения необходимых организационно-технических мероприятий, возможно при раздельном управлении качеством на каждой стадии. Это позволяет определить приоритетные направления развития всего производства, осуществление которых улучшает одну или несколько компонент показателя $P_{\text{конечн}}$ – вероятности качественного завершения всего технологического процесса.

Обозначим P_{ij} – вероятность того, что на i -й стадии процесса в результате проведения j -го мероприятия качество промежуточного или конечного продукта повысится до необходимого уровня. Данные вероятности можно получить либо посредством моделирования технологического процесса, либо экспериментально как отношение числа случаев получения качественного продукта к общему числу случаев.

Согласно известной формуле теории вероятностей, вероятность того, что к конечной стадии будет получен качественный продукт, равна произведению «промежуточных» вероятностей. Тогда имеем формулу:

$$P_{\text{конечн}} = \prod_{i=1}^N P_{ij^*}, \quad (1)$$

где j^* – номера мероприятий, выбираемых (производимых) на каждой стадии. Очевидно, что номера j^* надо выбирать, исходя из максимального значения конечной вероятности.

Любой технологический процесс многокритериален. Концепция управления качеством на основе вероятностного подхода для многошаговых процессов заключается в том, что в качестве одного из основных критериев принимается вероятность выпуска качественного изделия $P_{\text{конечн}}$. Однако очевидно, что реализация тех или иных мероприятий по повышению $P_{\text{конечн}}$ предполагает подключение определённых ресурсов, что, в первую очередь, неизбежно связано с некими денежными затратами. Таким образом, приходим к задаче оптимального управления, имеющей, как минимум, два критерия – вероятность качественного завершения

технологического процесса, которую надо максимизировать, и суммарные затраты на проведение корректирующих мероприятий, которые надо минимизировать.

Для разработки принципиальной модели оптимального управления рассмотрим простейший случай, когда одно мероприятие оказывает влияние только на одну стадию. Введем для каждой i -й стадии вектор

$$z_i = (z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{in_i}), \quad i = 1, \dots, N, \quad (2)$$

каждая компонента которого может принимать значение 0 или 1.

$$z_{iu} = \begin{cases} 1, & \text{если } u\text{-е мероприятие проводится для } i\text{-й стадии,} \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases}$$

Обозначим c_{iu} – материальные затраты, связанные с проведением u -го мероприятия на i -й стадии процесса. Необходимо определить набор мероприятий с минимальной суммарной стоимостью, который обеспечивает достаточный уровень вероятности качественного завершения всего производственного процесса, в котором стадии последовательно зависимы.

В общем случае на каждой стадии можно проводить не одно, а целый комплекс из n_i мероприятий. Очевидно, что суммарная стоимость этих комплексов будет равна сумме отдельных составляющих. Следовательно, в общем случае в качестве второго критерия эффективности технологического процесса необходимо использовать целевую функцию вида

$$q_2 = \sum_{i=1}^N \sum_{u=1}^{n_i} z_{iu} c_{iu} \rightarrow \min \quad (3)$$

С другой стороны, понятно, что повышение вероятности качественного завершения каждой стадии в общем случае не связано простой линейной зависимостью с набором проводимых мероприятий. Поэтому надо иметь такую модель, которая позволяла бы установить связь между комплексом реализуемых мероприятий и достигнутым уровнем вероятности качественного завершения каждой стадии. Иными словами, модель должна реализовывать некое множество-точечное отображение вида:

$$\varphi: 2^{\{z_{iu}\}} \rightarrow \{P_{ij^*}\}, \quad (4)$$

где $2^{\{z_{iu}\}}$ – множество всех подмножеств мероприятий, каждый элемент которого образует некоторый комплекс M_{ij^*} мероприятий, реализуемых на i -й стадии процесса; P_{ij^*} – вероятность качественного завершения i -й стадии после реализации комплекса M_{ij^*} . Благодаря модели (4) появляется возможность связать вероятности, соответствующие первому критерию эффективности процесса с переменными z_{iu} , определяющими значения второго критерия.

При оптимизации структуры многостадийного технологического процесса хорошо зарекомендовало себя применение теории графов. Тогда оптимальная последовательность проводимых мероприятий будет ассоциироваться с оптимальным путём в графе, описывающем структуру процесса. Определённая сложность для оптимизации состоит в том, что при поиске оптимального пути критерий должен быть аддитивным. Тогда значение критерия на всём пути будет равно сумме значений критерия на дугах, составляющих оптимальный путь, а это не соответствует формуле (1). Однако формулу (1) можно почленно прологарифмировать и получить необходимый вид критерия:

$$\ln P_{\text{конечн}} = \sum_{i=1}^N \ln P_{ij^*} \quad (5)$$

В качестве метода оптимизации будем использовать частный случай векторного алгоритма Флойда-Уоршалла [4], когда исходный граф не содержит контура. Это позволяет избежать одного внешнего цикла, что существенно повышает быстродействие алгоритма.

Рассмотрим в качестве примера, иллюстрирующего работу алгоритма, следующую задачу. Имеем двухстадийный технологический процесс, на каждой стадии которого возможно проведение любого комплекса из трёх мероприятий, включая «пустого» комплекса, при котором мероприятия вообще отсутствуют и процесс пущен «на самотёк». Следовательно, на каждой стадии возможно реализовать по 8 комплексов мероприятий:

$\emptyset, z_1, z_2, z_3, z_1 \cup z_2, \dots, z_1 \cup z_2 \cup z_3$. Прономеруем возможные состояния процесса числами от 1 до 18, где 1-е состояние – начальное, 18-е – конечное (они фиксированы). После реализации какого-либо комплекса мероприятий на первой стадии процесс может прийти в одно из состояний с номерами 2 – 9. А после реализации какого-либо комплекса мероприятий на второй стадии процесс может прийти в одно из состояний с номерами 10 – 17.

В таблице 1 приведен фрагмент матрицы двумерных весов дуг графа, соответствующих различным переходам из одного состояния в другое на 1 и 2 стадиях (всего граф содержит 80 дуг и, соответственно, 64 варианта путей).

Таблица 1

Фрагмент матрицы двумерных весов дуг графа

Table 1

Fragment of the matrix of two-dimensional weights of graph arcs

Начальная вершина дуги Initial vertex of arc (i)	Конечная вершина дуги Final vertex of the arc (j)	Вероятность P_{ij} достижения нужного качества The probability of achieving the required quality	Затраты на проведение комплекса мероприятий Costs of the complex of activities
1	2	0,75	0,0
1	3	0,85	7,0
1	4	0,90	12,0
1	5	0,88	10,0
1	6	1,00	19,0
1	7	1,00	22,0
1	8	0,98	17,0
1	9	1,00	29,0
2	10	0,68	0,0
2	11	0,78	5,0
2	12	0,83	15,0
2	13	0,81	20,0
2	14	0,93	20,0
2	15	0,94	35,0
2	16	0,91	25,0
2	17	0,98	40,0

Реализация алгоритма позволила найти 16 Парето-оптимальных путей в данном графе из вершины №1 в вершину №18:

Rout 1 = 1 6 17 18	Rout 9 = 1 2 11 18
Rout 2 = 1 8 17 18	Rout 10 = 1 3 11 18
Rout 3 = 1 6 15 18	Rout 11 = 1 4 11 18

Rout 4 = 1 3 14 18	Rout 12 = 1 5 11 18
Rout 5 = 1 4 14 18	Rout 13 = 1 6 11 18
Rout 6 = 1 5 14 18	Rout 14 = 1 8 11 18
Rout 7 = 1 6 14 18	Rout 15 = 1 2 10 18
Rout 8 = 1 8 14 18	Rout 16 = 1 5 10 18

Соответствующие значения 1-го и 2- критериев приведены в таблице 2.

Значения критериев эффективности технологического процесса

Table 2

Values of the efficiency criteria of the technological process

№ пути Path number	Значение q_1 Value of q_1	Значение q_2 Value of q_2	№ пути Path number	Значение q_1 Value of q_1	Значение q_2 Value of q_2
1	0,9800	59,0	9	0,5850	5,0
2	0,9604	57,0	10	0,6630	12,0
3	0,9400	54,0	11	0,7020	17,0
4	0,7905	27,0	12	0,6864	15,0
5	0,8370	32,0	13	0,7800	24,0
6	0,8184	30,0	14	0,7644	22,0
7	0,9300	39,0	15	0,51	0,0
8	0,9114	37,0	16	0,5984	10,0

На рисунке 2 приведено графическое представление таблицы 2 (для наглядности направление

оси абсцисс 1-го критерия изменено на противоположное).

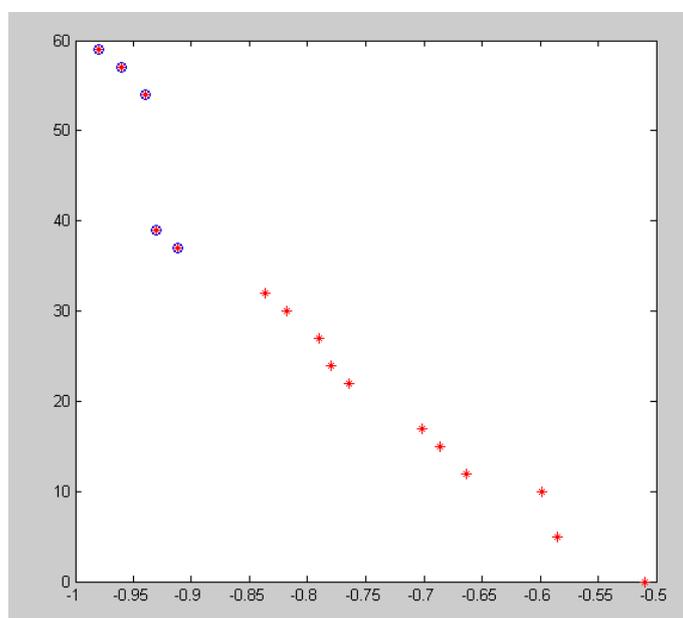


Рисунок 2. Множество Парето-оптимальных решений двухстадийного технологического процесса (синим кругом обозначены решения со значением вероятности качественного завершения процесса более 0,9)

Figure 2. The set of Pareto-optimal solutions of the two-stage production process (the blue circle marked solutions with the value of probability qualitative completion of the process more than 0.9)

Вывод

Применение векторной оптимизации на графах позволяет получить развёрнутую картину последствий различных вариантов управления на каждой стадии технологического процесса,

которую затем можно будет использовать для технологической подготовки производства либо для оперативного управления функционированием технологического процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1 Федюкин В. К. Управление качеством производственных процессов. М.: КНОРУС, 2013. 332 с.
 2 Авсева О. В., Медведкова И. Е., Скляров В. А. Экспертная оценка функций отклика в задаче управления качеством многошаговых технологических процессов // Сборник статей II Международной научно-практической интернет-конференции «Моделирование энергоинформационных процессов» Воронеж, 22 – 24 декабря 2014. Воронеж, 2015. С. 84 – 89.

3 Авсева О.В., Говорский А.Э., Тебекин Ю. Б., Кравец О. Я. К постановке задачи оптимизации проектирования систем специальной связи // Информационные технологии моделирования и управления. 2009. № 7(59). С. 945 – 948.
 4 Блинов И.В., Бугаев Ю.В., Чикунев С.В. Обобщение алгоритма Флойда-Уоршалла на случай нескольких критериев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2009. Т. 15. № 4. С. 885 – 892.

REFERENCES

1 Fedyukin V.K. Upravlenie kachestvom proizvodstvennykh protsessov [Quality management of production processes] Moscow, KNORUS, 2013. 332 p. (in Russian).

2 Avseeva O.V., Medvedkova I.E., Sklyarov V.A. Expertise response functions in the problem of quality control multistep processes. Sbornik statei II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi intrnet-konferentsii «Modelirovanie energoinformatsionnykh protsessov» [Collection of Articles II International scientific and practical Internet-conference "Energy and Process Simulation" Voronezh, 22 - December 24, 2014] Voronezh, 2015, pp. 84 - 89. (in Russian).

3 Avseeva O.V., Govorskii A.E., Tebekin Yu.B., Kravets O. Ya. About setting the optimization problem of designing special communication systems. *Informatsionnye tekhnologii modelirovaniya i upravleniya* [Information technology modeling and management] 2009, no. 7 (59), pp. 945 - 948. (in Russian).

4 Blinov I.V., Bugaev Yu.V., Chikunov S.V. Generalization of algorithm Floyd-Uorshall in the case of several criteria. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of Tambov state technical university] 2009, vol. 15, no. 4, pp. 885 - 892. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Юрий В. Бугаев д.ф.-м.н, профессор, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, y_bugaev52@mail.ru

Юлия А. Сафонова к.т.н., ст. преподаватель, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036

Артем Ю. Ткачев аспирант, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, reddiablo.007@mail.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Yuri V. Bugaev doctor of physical-mathematical science, professor, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, y_bugaev52@mail.ru

Yuliya A. Safonova candidate of technical science, senior lecturer, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Artem Yu. Tkachev graduate student, information simulation technology and management department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, reddiablo.007@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Юрий В. Бугаев предложил методику проведения

Юлия А. Сафонова обзор литературных источников по исследуемой проблеме, выполнила расчёты, консультация в ходе исследования

Артем Ю. Ткачев написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

CONTRIBUTION

Yuri V. Bugaev proposed a scheme of the experiment

Yuliya A. Safonova review of the literature on an investigated problem, consultation during the study

Artem Yu. Tkachev wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

ПОСТУПИЛА 21.07.2017

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 18.08.2017

RECEIVED 7.21.2017

ACCEPTED 8.18.2017