

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛ И СРЕДСТВ, ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ НАВОДНЕНИЯХ НА БОЛЬШИХ ТЕРРИТОРИЯХ

В статье рассмотрена задача проведения восстановительных работ на большой территории, в отдельных районах которой темпы и сама возможность выполнения работ зависят от времени года. Предложен метод минимизации срока завершения работ при ограничениях на ресурсы. В основу метода лежат идеи метода динамического программирования.

Ключевые слова: восстановительные работы, срок, ресурсы, оптимизация, динамическое программирование.

A. Maron

OPTIMIZATION OF DISTRIBUTION THE FORCES AND MEANS FOR ELIMINATION OF CONSEQUENCES IN EMERGENCY SITUATIONS IN CASE OF FLOODS IN A WIDE AREA

The article views the topical issues in the sphere of recovering efforts in a large area for certain regions where the rates and the possibility of work depends on the time of year. The author of the article suggests a method of minimization the period of works under the constraints resources. The method is based on the ideas of dynamic programming.

Keywords: recovery efforts, period, resources, optimization, dynamic programming.

Наводнение на Дальнем Востоке сделало актуальной проблему организации восстановительных работ на большой территории в условиях мирного времени. Вызванный дождями разлив Амура, принёс разрушения в Амурскую область, Еврейскую автономную область и Хабаровский край. Минусовые температуры в различных пострадавших районах наступают в разное время календарного года. Если ограничиться только районами Хабаровского края, расположенными вдоль Амура, то обычно, в Хабаровске зима приходит в середине ноября, а в Николаевске-на-Амуре, минусовая температура устанавливается уже к середине октября. Естественно это надо учитывать при планировании восстановительных работ на различных объектах. Объектами, подлежащими восстановлению, являются дороги (с различным покрытием), водопроводы и газопроводы, дома.

Рассмотрим подразделение, специализирующееся на ремонте и возведении объектов, определённой категории. Далее такую единицу будем называть РВП. Допустим, ему поручено выполнение определённого объёма работ на однородных объектах, находящихся в разных районах, отличающихся погодными условиями и характером местности. В каждом районе свой объём, который надо выполнить. Естественно, темпы выполнения работ будут зависеть от того, в какое время года и в каком районе они производятся. Более того, в определённые календарные периоды выполнение работ может оказаться невозможным. Для ускорения работ РВП может привлекать субподрядные организации. Однако объём денежных средств, который можно на это израсходовать, строго ограничен. Возникает задача определить последовательность работ в различных районах, при которой задание будет

выполнено в кратчайший срок, а объём средств на привлечение субподрядчиков будет не больше заданного. Срок освоения заданного объёма работ является одним из наиболее адекватных существующих проблем одиночных критериев оптимизации. Поэтому именно он используется наиболее часто для оценки качества планирования. Для оценки того, насколько план отвечает другим критериям можно рекомендовать подходы, изложенные в учебном пособии [1].

Наиболее близкая по постановке задача оптимизации плана работ рассмотрена в работе посвящённой оценке экономической эффективности внедрения моделей и средств автоматизации при ликвидации территориальных чрезвычайных ситуаций: опасности, угрозы, риски [2]. Однако задача, решённая в ней, значительно проще, рассматриваемой в настоящей статье. Там, в силу отраслевой специфики вопрос о привлечении дополнительных средств не рассматривался – все работы должны были выполняться собственными силами. Кроме того, считалось, что работы на любом участке можно выполнять в любое время года. Эти ограничения не позволяют применить результаты, изложенные в статье [2] для решения поставленной задачи. Впервые адекватная математическая постановка и метод решения задачи проведения восстановительных работ на большой территории, для отдельных районов которой темпы и сама возможность выполнения работ зависят от времени года, будут приведены ниже.

Вместе с тем исследователи выделяют чрезвычайные ситуации, связанные с изменением состояния гидросфера (водной среды) и проявляющиеся в недостатке питьевой воды вследствие истощения водных источников или их загрязнения; истощении водных ресурсов, необходимых для организации хозяйственно-бытового водоснабжения и обеспечения технологических процессов; нарушении хозяйственной деятельности и экологического равновесия вследствие загрязнения зон внутренних морей и мирового океана [5]. Таким образом, только сохранение и восстановление окружающей среды на водохранилищах рек в необходимом объёме позволит перейти к устойчивому водопользованию, сбалансированности гидрологического цикла, восстановлению естественного водного режима водных объектов, способности в масштабах водохранилища поддерживать естественное качество воды [5].

РВП поручено восстановление разрушенных объектов инфраструктуры в n районах, отличающихся друг от друга условиями проведения работ. Общий объём работ V складывается из объёмов V_i , которые надо выполнить на объектах расположенных в различных районах i ($i = 1, 2, \dots, n$). Единица измерения объёма работ зависит от физической сущности объекта восстановления. Для линейных объектов, таких как дороги – это километры. Для индивидуальных домов – их количество, или количество метров площади. Будем считать, что объём измеряется в условных единицах. Темп работ измеряется в количестве условных единиц объёма работ, выполняемых в единицу времени. В качестве единицы времени, как будет видно из дальнейшего изложения, удобно принять одну неделю. Соответственно календарный год будет состоять из 52 временных интервалов ($k = 1, 2, \dots, 52$).

Начало первой единицы времени совпадает с началом календарного года. Хотя все объекты одинаковы, темп работ не является константой. Он зависит от того, в каком районе этот объект расположен и в какое время производятся работы. В пределах единицы времени k темп работ, выполняемых силами одного РВП в районе i постоянен и равен v_{ik} . Естественно, в одном районе близким значениям k , соответствует одинаковый темп строительства.

Для любого района i могут существовать периоды, когда работы выполнять нельзя. Для учёта данного фактора, положим темп работ в соответствующие периоды равным нулю.

Привлекая субподрядчиков время освоения запланированного объёма работ можно уменьшить. Если для выполнения работ в районе i привлечена субподрядная организация, то ей поручается определённая часть работ. Будем считать, что эта часть постоянна для всех районов и равна a . Поскольку здесь идёт об ответственных работах уместно считать, что субподрядчик всегда работает в том же темпе, где находится РВП, и его доля не более 25 %. Это позволяет сохранять допустимый уровень рисков [3]. Вместе с тем, как правило, нет смысла привлекать субподрядчиков, поручая им менее 25 % работ в районе. Стоимость работ субподрядчика пропорциональна выполняемому объёму. Следовательно, стоимость привлечения субподрядчика для ускорения работ в районе i равна:

$$B_i = b \cdot (a \cdot V_i), \quad (1)$$

где b – стоимость выполнения субподрядчиком единицы работ.

Как правило, она измеряется в млн рублей. Всего на привлечение субподрядчиков можно истратить не более B млн руб. Интерес представляет случай, когда средств достаточно для привлечения субподрядчика к работе, хотя бы в одном районе; но недостаточно для привлечения субподрядчиков к работам во всех районах. Именно он будет рассмотрен далее. При этом считаем, что субподрядчики работают с тем же темпом, что и РВП. В случае привлечения в РВП дополнительной рабочей силы, затраты, как правило, пропорциональны не объёму работ, а их длительности. Этот случай рассматривать не будем, ограничиваясь случаем, когда привлекаются субподрядные организации.

В начальный момент времени РВП находится в пункте постоянной дислокации. Известно количество единиц времени t_{0i} на перебазировку из пункта дислокации в район i . Известно количество единиц времени t_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, n$) на перебазировку РВП из одного района в другой. Перебазировка из района i в район j совершается только после того, как РВП выполнил весь объём работ V_i в районе i . Не существуется перебазировка в те районы, в которых в расчётный момент прибытия работы выполнены нельзя. Если работы в районе i закончены, и нет ни одного района в который можно перебазироваться, раньше, чем через $t_{ож}$, то при $t_{ож} < t_{ожm}$ РВП остаётся в районе i . В противном случае, РВП возвращается в пункт постоянной дислокации. Откуда уже в подходящий момент времени перебазируется в район, где можно выполнять работы. Естественно, $t_{ожm} >> 2 \cdot \max(t_{0i})$, где максимум берётся по всем i .

Требуется определить последовательность выполнения работ, при которой суммарное время выполнения всех работ минимально, а затраты на привлечение дополнительной рабочей силы не превосходят установленного предела.

Будем рассматривать выполнение восстановительных работ как процесс последовательного перевода системы из состояния S_n , в котором она находится в начальный момент, когда необходимо выполнить работы в n районах в конечное состояние S_0 , когда все работы завершены. Нам необходимо найти управление – последовательность выполнения работ, которые можно выполнять как собственными силами РВП, так и с привлечением дополнительной рабочей силы, при котором время перехода минимально, а затраты не превосходят предельно допустимых. Поскольку число районов конечно и они могут быть пронумерованы целыми числами, то это задача целочисленной оптимизации. Соответственно, её можно решить полным перебором возможных вариантов. Однако при вполне реальном числе районов $n = 20$ количество вариантов, которые надо перебрать, составит $2 \cdot 20!$, что приблизительно равно $4,9 \cdot 10^{18}$. Очевидно, что вычислительные трудности будут непреодолимы, даже если использовать супер ЭВМ. Вместе с тем, можно предложить метод решения поставленной за-

дачи, при котором сложность расчётов будет определяться значением $2^{20} - 1,05 \cdot 10^6$, что делает реальным получение результата.

Зададим фазовые координаты. Они должны определять каждое из возможных состояний системы: начальное – S_n , промежуточное – S_m ($m < n$), конечное – S_0 ; с точностью достаточной для проведения необходимых вычислений. Вычислять придётся длительность перебазировки, длительность работ в зависимости от того, выполняются они собственными силами РВП или с привлечением субподрядчика. Для этого необходимо знать: список номеров районов, где работы, ещё не выполнены; номер района, работы в котором закончены последними; текущее время, которое с учётом дискретизации, можно задать номером временного интервала и произведённые ранее суммарные затраты на привлечение субподрядчиков.

Затраты на привлечение субподрядчиков как и текущее время – непрерывная величина. Для проведения расчётов, проведём её дискретизацию. Чем меньше будет интервал квантования, тем большее количество вычислений придётся выполнить для поиска оптимального решения. Вместе с тем, делать его слишком большим тоже нельзя. Может быть потеряна точность расчётов. Его приемлемое значение может быть определено в результате сопоставления B и стоимости привлечения субподрядчика в районе, где объём работ минимален. Допустим интервал квантования принят равным Δ_B . Тогда произведённые суммарные затраты на привлечение субподрядчиков полностью определяются номером интервала квантования произведённых затрат.

Будем характеризовать состояние S_m ($m = 0, 1, 2, \dots, n$) следующими координатами:

x_m – список номеров районов, где работы ещё не выполнены;

j – номер района, работы в котором закончены последним ($j \in x$);

k – номер интервала времени, завершения работ в районе j ;

r – номер интервала квантования произведённых затрат.

Координата x_m определяет районы, в которых ещё необходимо выполнить запланированные работы. Координата j необходима для вычисления затрат времени на перебазировку РВП в каждый из районов $i \notin x_m$. Координата k представляет собой текущее время в дискретной форме. Эта координата необходима для вычисления длительности перебазировки и, соответственно, времени начала работ в районе i , которое необходимо знать, для вычисления длительности работ в этом районе. Координата r необходима для определения того, можно ли привлекать субподрядчика для проведения работ.

Допустим, в состоянии S_m принято решение перебазировать РВП в район $i \notin x_m$ и выполнять работы собственными силами. В этом случае, после их завершения, система перейдёт в состояние S_{m-1}^{1i} . Координаты для S_{m-1}^{1i} определяются следующим образом. Из списка номеров x_m исключается номер i . Номер района, работы в котором закончены последним, будет равен i . Номер временного интервала, соответствующий текущему времени определяется (с учётом цикличности) исходя из длительности перебазировки и затрат времени на выполнение всех работ в районе i . Длительность работ в районе i вычисляется с учётом того, что темп работ зависит от временных интервалов, в которые они выполняются, координата r остаётся такой же, как в предшествующем состоянии S_m .

Если же принято решение перебазировать РВП в район $i \in x_m$ и привлечь к выполнению работ субподрядчика, то система перейдёт в состояние S_{m-1}^{2i} . Привлечение субподрядчика допустимо, только тогда, когда сумма ранее произведённых затрат и B_i не превышает B . Первые две координаты состояния S_{m-1}^{2i} такие же, как и состояния S_{m-1}^{1i} . Две другие координаты этих состояний отличаются

в привлечении субподрядчика длительность работ в районе i определяется моментом, времени, когда РВП закончит свои работы, объём которых будет равен $V^2_i = (1 - \alpha) \cdot V_i$.

Произведённые затраты увеличиваются на величину B_i , которая вычисляется по формуле (1). Появляется интервал, в который попадает эта величина. Его верхняя граница принимается в качестве близкого значения и соответственно определяется номер $r(S^{2i}_{m-1})$.

Предложенная модель процесса восстановления даёт возможность найти оптимальную последовательность работ методом динамического программирования [4]. Рекуррентное соотношение, с помощью которого можно выполнить пошаговую оптимизацию будет иметь вид

$$T^*(S_m) = \min [T(S_m; i; f) + T^*(S^{f_i}_{m-1})]. \quad (2)$$

Минимум берётся по всем $i \in x_m$ и $f = 1, 2$. При этом сочетание $(i; 2)$ допустимо только, если сумма ранее произведённых затрат, соответствующих S_m , и B_i не превышает B .

Вычислительная процедура состоит из двух этапов.

На первом этапе необходимо для всех возможных состояний начиная с $m = 1$ до $m = n$ найти T^* и соответствующую пару $(i^*; f^*)$. На втором этапе – пару, найденную для начального состояния взять в качестве первого решения; о том в каком районе выполнять работы и привлекать ли субподрядчика. Затем определить состояние, в которое перейдёт система, когда решение будет реализовано, и найденную для него пару принять в качестве следующего решения и так далее. Пока последовательность работ не будет полностью определена.

Метод существенно эффективнее полного перебора уже при $n = 15$.

Таким образом, предложен метод нахождения оптимальной последовательности выполнения восстановительных работ на больших территориях с учётом ограничений на затраты.

В качестве рекомендаций предлагается разработать систему защиты населения и хозяйственных объектов от вредного воздействия вод, прежде всего, наводнений. Это научное направление требует совершенствования моделей, объясняющих механизмы возникновения и развития наводнений, улучшения методов прогноза наводнений и их последствий, совершенствования системы гидрометеорологического мониторинга, а также капитальных мер по реконструкции ряда водохранилищ, защите гор. насел. поселков и хозяйственных объектов, в ряде случаев – вывода населённых пунктов из опасных зон. При принятии решений о выделении территорий под строительство новых объектов различного назначения необходимо учитывать вероятность их затоплений и подтоплений, возможные ущербы от наводнений, необходимость страхования [5].

Литература

1. Акимов В.А., Богачёв В.Я. и др. Экономические механизмы управления рисками чрезвычайных ситуаций в МЧС России. – М.: ИПП «Куна», 2004.
2. Скубрий Е.В. Оценка экономической эффективности внедрения моделей и средств автоматизации при создании территориальных чрезвычайных ситуаций: опасности, угрозы, риски. Сборник трудов XIX Международной научно-практической конференции «Экономические и правовые аспекты обеспечения мероприятий по защите гражданских интересах МЧС России». – Химки: АГЗ МЧС России, 2009.
3. Павлюченко В.М., Марон А.И. Методы расчёта графиков производства линейных работ при газификации газового сектора. – М.: ВНИИПК техогнефтегазстрой, 1990.
4. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М.: Советское радио, 1972.
5. Комаров А.В., Каширный В.В. Проблемы водопользования и чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. Химки: АГЗ МЧС России, – 2010. – № 1. С.31–41.